

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-64620

(43) 公開日 平成7年(1995)3月10日

(51) Int. Cl. ⁴

識別記号

F I

G05B 19/4103

9064-3H

G05B 19/415

D

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全28頁)

(21) 出願番号 特願平5-216727

(22) 出願日 平成5年(1993)8月31日

(71) 出願人 00006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 高橋 悌史

尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機
株式会社産業システム研究所内

(72) 発明者 加藤 清敏

尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機
株式会社産業システム研究所内

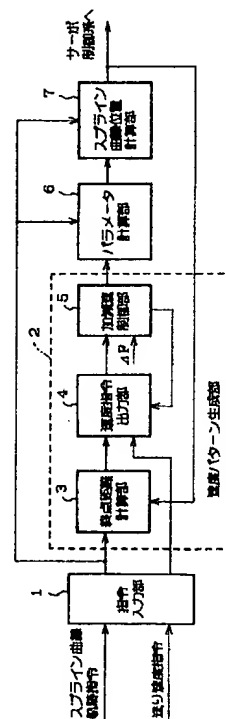
(74) 代理人 弁理士 田澤 博昭 (外1名)

(54) 【発明の名称】 数値制御装置

(57) 【要約】

【目的】 加減速制御を考慮した高速かつ高精度な速度制御が行え、スプライン曲線上を滑らかに駆動でき、工作機械の異常振動が低減でき、速度優先と精度優先の選択が可能な数値制御装置を得る。

【構成】 入力されたスプライン曲線の終点までの距離の計算結果より作成された速度指令に基づいてパラメータを算出してスプライン曲線上の位置の計算を行い、また入力されたスプライン曲線の曲率を評価してその評価結果より送り速度指令を生成し、また速度優先を指定する選択情報が入力された場合には単位時間の移動量が一定となるような補間制御を選択し、精度優先を指定する選択情報が入力された場合にはトレランスを保証する補間制御を選択する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 指令軌跡をスプライン曲線の形式で入力する指令入力部と、前記スプライン曲線の終点までの距離を計算する終点距離計算部と、前記終点距離計算部の計算結果を用いて速度指令の作成を行う速度指令出力部と、前記速度指令から前記スプライン曲線のパラメータを計算するパラメータ計算部と、前記パラメータから前記スプライン曲線上の位置を計算するスプライン曲線位置計算部とを備えた数値制御装置。

【請求項 2】 前記パラメータ計算部が、少なくとも 1 処理周期前の移動量とパラメータ変化量の比を用いて、前記スプライン曲線のパラメータを計算する機能を有することを特徴とする請求項 1 に記載の数値制御装置。

【請求項 3】 指令軌跡をスプライン曲線の形式で入力する指令入力部と、前記スプライン曲線の終点までの距離を計算する終点距離計算部と、前記終点距離計算部の計算結果を用いて速度指令の作成を行う速度指令出力部と、前記速度指令から前記スプライン曲線のパラメータを計算するパラメータ計算部と、前記パラメータから前記スプライン曲線上の位置を計算するスプライン曲線位置計算部と、前記速度指令と前記スプライン曲線上の移動量を比較して、前記パラメータの修正を行うパラメータ修正部とを備えた数値制御装置。

【請求項 4】 指令軌跡を複数のスプライン曲線の形式で入力する指令入力部と、前記各スプライン曲線の接続点での連続性を判断する接続状態判断部と、前記接続状態判断部にて 2 つの前記スプライン曲線が連続に接続されていると判断された場合、後部の前記スプライン曲線の終点までの距離を計算する終点距離計算部と、前記終点距離計算部の計算結果を用いて速度指令の作成を行う速度指令出力部と、前記速度指令から前記スプライン曲線のパラメータを計算するパラメータ計算部と、前記パラメータから前記スプライン曲線上の位置を計算するスプライン曲線位置計算部とを備えた数値制御装置。

【請求項 5】 位置指令をスプライン曲線の形式で入力する曲線入力部と、前記曲線入力部より入力されたスプライン曲線の曲率の評価を行う曲率評価部と、前記曲率評価部で評価された曲率をもとに送り速度指令を生成する速度指令生成部とを備えた数値制御装置。

【請求項 6】 前記曲率評価部が、前記スプライン曲線の曲率を、パラメータを所定のピッチで変化させながら評価する機能を有することを特徴とする請求項 5 に記載の数値制御装置。

【請求項 7】 前記曲率評価部が、前記スプライン曲線を複数の有理ベゼー曲線に変換する機能と、変換後の前記各有理ベゼー曲線についてその曲率を評価する機能とを有することを特徴とする請求項 5 に記載の数値制御装置。

【請求項 8】 前記曲率評価部が、前記スプライン曲線を複数の有理ベゼー曲線に変換する機能と、変換後の前

記各有理ベゼー曲線の制御点に基づいて、前記スプライン曲線の曲率を評価する機能とを有することを特徴とする請求項 5 に記載の数値制御装置。

【請求項 9】 前記速度指令生成部が、与えられた前記スプライン曲線の各点における曲率、前記スプライン曲線と補間後の線分との間の許容誤差、および補間単位時間より前記各点の速度を求める機能と、得られた前記各点の速度を与えられた速度指令値と比較して、与えられた前記速度指令値の方が小さな区間では、前記スプライン曲線の速度に当該速度指令値を設定する機能とを有することを特徴とする請求項 5 に記載の数値制御装置。

【請求項 10】 位置指令を有理化 B スプライン曲線の形式で入力する曲線入力部と、入力された前記有理化 B スプライン曲線を複数の有理ベゼー曲線に変換する曲線変換部と、変換された前記各有理ベゼー曲線の補間を行う有理ベゼー曲線補間部とを備えた数値制御装置。

【請求項 11】 入力される位置指令を有理化 B スプライン曲線の形式に変換する指令変換部と、前記指令変換部にて変換された有理化 B スプライン曲線の曲率の評価を行う曲率評価部と、前記曲率評価部で評価された曲率をもとに送り速度指令を生成する速度指令生成部とを備えた数値制御装置。

【請求項 12】 補間処理を速度優先で行うか精度優先で行うかを指定する選択情報が入力される選択情報入力部と、入力された前記選択情報が速度優先を指定するものであった場合には、単位時間の移動量が一定となるような補間制御を選択する速度優先選択部と、入力された前記選択情報が精度優先を指定するものであった場合には、トレランスを保証する補間制御を選択する精度優先選択部とを備えた数値制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、工作機械やロボットなどの制御を行う数値制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 図 3 2 は例えば、特開昭 6 4 - 8 1 0 1 2 号公報に示された、従来の数値制御装置を示すブロック図である。図において、4 1 は指令がパンチされている指令テープであり、4 2 はこの指令テープ 4 1 を読み込むテープリーダーである。4 3 は読み込まれたデータの前処理を行う前処理手段であり、4 4 は当該数値制御の演算処理を実行する中央演算処理装置（以下、CPU という）、4 5 は CPU 4 4 よりアクセスされるメモリである。4 6 は補間データを工具の各軸毎の指令パルスとして分配するパルス分配器であり、4 7 はその指令パルスに基づいてサーボモータを駆動するサーボ制御回路、4 8 はそのサーボモータである。

【0003】 次に動作について説明する。まず、テープリーダー 4 2 によって、指令位置や指令速度がパンチされている指令テープ 4 1 より工具移動についてのデータが

読み込まれる。読み込まれたデータに補間指令の G コードが含まれている場合には、前処理手段 4 3 において指令された点列に基づくスプライン曲線の設定が行われる。CPU 4 4 は設定された当該スプライン曲線の接線方向での単位時間あたりの移動量を演算し、メモリ 4 5 に格納されている補間データ作成のためのプログラムに従って工具軌跡を演算する。このようにして作成された補間データは、パルス分配器 4 6 で工具の各軸毎の指令パルスとして分配され、それぞれのサーボ制御回路 4 7 に送られる。サーボ制御回路 4 7 は受け取った指令パルスに従ってサーボモータ 4 8 を制御し、このサーボモータ 4 8 の回転によってボールねじ等を介して工具を移動させる。

【0004】このように、上記数値制御装置においては、まず接線ベクトルを求め、一定速度でスプライン曲線上を移動するためのパラメータ変化量をその接線ベクトルより算出し、そのパラメータ変化量に応じて、スプライン曲線上の補間点をパルス分配周期毎に計算しており、そのスプライン曲線は 3 次スプライン曲線に基づいて計算するものであった。また、そのスプライン曲線を一定速度で移動するためのスプライン曲線のパラメータ Δt は、パルス分配毎の移動量 f と接線ベクトル $p \cdot t'$ から求められていた。

【0005】なお、このような従来の数値制御装置に関連した技術が記載された文献としては、この他にも、例えば特開平 3-19963 号公報などがある。この特開平 3-19963 号公報による曲線補間装置は、与えられた任意の曲線に対して、所望の許容誤差を保証するように微小線分で曲線を補間するものであり、この方法は、現在位置における曲線の曲率と現在位置から探索長だけ離れた付近の曲線の曲率を比較し、その判定結果より線分長を決定するものである。

【0006】また、「コンピュータ エイデッド デザイン (Computer Aided Design)」第 19 巻第 9 号 (1987 年 9 月) の第 485~498 頁に掲載された論文「カーブ アンド サーフェス コンストラクションズ ユーザング ラショナルビー・スプラインズ (Curve and surface constructions using rational B-splines)」にもあるように、有理化 B スプライン (Non Uniform Rational B-Spline、以下 UNRBS という) 曲線がコンピュータ支援設計 (CAD) において広く使用されるようになってきている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来の数値制御装置は以上のように構成されているので、スプライン曲線上を一定速度で移動する補間方式であり、進行方向 (スプライン曲線の接線方向) に対して、機械が振動を起こさないようななめらかな加減速制御が考慮されておらず、視点のなめらかな加速制御、および終点での減速制御が行われなため、スプライン曲線上をなめらかに機械制

御することができない。また、スプライン曲線上を一定指令速度で移動するためのスプライン曲線のパラメータ Δt は接線ベクトル $p \cdot t'$ から求めているため、計算時間がかかるばかりか、一定速度指令で移動するために求めたスプライン曲線のパラメータ Δt は、接線ベクトル $p \cdot t'$ から求められているが、接線ベクトル $p \cdot t'$ では正確に 1 パルス分配周期毎の移動量とスプライン曲線のパラメータ変化量の比を求めることができず、曲率の大きいところではパラメータ Δt の計算誤差が発生し、スプライン曲線上を正確に指令速度で移動することはできない。また、スプライン曲線を補間を行うにあたっての接線ベクトルの求め方が簡単ではなく、複数のスプライン曲線からなる軌跡を補間する場合についても、進行方向 (スプライン曲線の接線方向) に対して、機械が振動を起こさないようななめらかな加減速制御が考慮されておらず、始点のなめらかな加速制御および終点での減速制御が行われないので、スプライン曲線上をなめらかに機械制御することができないなどの問題点があった。

【0008】また、従来の補間方法では、探索長を細かく設定しすぎると許容誤差は充分保証されるが、線分が細くなりすぎ、その後の直線補間部分での処理が追従できず、高速な補間ができなくなると、探索長を大きくしすぎると許容誤差が保証されなくなり、探索長の設定が面倒なものとなるという問題点があった。また、UNRBS 曲線を前述の方法で補間すると、演算時間がかかり高速な補間制御ができないという問題点があり、さらに、一般の作業者にとっては、精度の保証も重要であるが加工速度の保証も重要な要素であり、精度優先と速度優先を自由に選べる数値制御装置が望まれているが、そのような要請にも応えられるものではなかった。

【0009】この発明は上記のような問題点を解消するためになされたものであり、始点の加速制御および終点での減速制御等の加減速制御を考慮した速度制御が行え、スプライン曲線上をなめらかに駆動することができ、簡単な計算方式で指令速度に対応したスプライン曲線のパラメータを計算する手法、さらには、指令速度に対応したスプライン曲線のパラメータを正確に計算する手法をもち、複数のスプライン曲線で構成される軌跡でも、加減速制御を考慮して滑らかにスプライン曲線上を駆動でき、また、該スプライン曲線がなめらかに接続されていない場合には接続点で減速制御あるいは停止等の速度制御を行うことができる数値制御装置を得ることを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】請求項 1 に記載の発明に係る数値制御装置は、指令入力部より入力されたスプライン曲線の終点までの距離を計算する終点距離計算部、その計算結果を用いて速度指令を作成する速度指令出力部、その速度指令よりスプライン曲線のパラメータを計算するパラメータ計算部、およびそのパラメータからス

ブライン曲線上の位置を計算するスブライン曲線位置計算部を備えたものである。

【0011】また、請求項2に記載の発明に係る数値制御装置は、スブライン曲線のパラメータを、少なくとも1処理周期前の移動量とパラメータ変化量の比を用いて計算する機能をパラメータ計算部に持たせたものである。

【0012】また、請求項3に記載の発明に係る数値制御装置は、速度指令出力部の作成した速度指令とスブライン曲線上の移動量を比較して、パラメータ計算部の計算したパラメータの修正を行うパラメータ修正部をさらに設けたものである。

【0013】また、請求項4に記載の発明に係る数値制御装置は、指令入力部より入力された複数のスブライン曲線の接続点での連続性を判断する接続状態判断部を設け、2つのスブライン曲線が連続に接続されていると判断された場合には、後部のスブライン曲線の終点までの距離を計算する機能を終点距離計算部に持たせたものである。

【0014】また、請求項5に記載の発明に係る数値制御装置は、曲線入力部より入力されたスブライン曲線の曲率を評価する曲率評価部、および評価された曲率をもとに送り速度指令を生成する速度指令生成部を備えたものである。

【0015】また、請求項6に記載の発明に係る数値制御装置は、パラメータを所定のピッチで変化させながらスブライン曲線の曲率を評価する機能を曲率評価部に持たせたものである。

【0016】また、請求項7に記載の発明に係る数値制御装置は、スブライン曲線を複数の有理ベゼー(Bezier) 30 曲線に変換し、変換後の各有理ベゼー曲線についてその曲率を評価する機能を曲率評価部に持たせたものである。

【0017】また、請求項8に記載の発明に係る数値制御装置は、変換された複数の有理ベゼー曲線の制御点に基づいてスブライン曲線の曲率を評価する機能を曲率評価部に持たせたものである。

【0018】また、請求項9に記載の発明に係る数値制御装置は、与えられたスブライン曲線の各点における曲率、曲線と補間後の線分との間の許容誤差、補間単位時間から各点の速度を求める機能、および与えられた速度指令値と各点における速度を比較し、速度指令値の方が小さな区間は速度指令値に曲線の速度を設定する機能を、速度指令生成部に持たせたものである。

【0019】また、請求項10に記載の発明に係る数値制御装置は、曲線入力部より入力されたNURBS曲線を複数の有理ベゼー曲線に変換する曲線変換部、およびその各有理ベゼー曲線の補間を行う有理ベゼー曲線補間部を備えたものである。

【0020】また、請求項11に記載の発明に係る数値

制御装置は、入力される位置指令をNURBS曲線の形式に変換する指令変換部、変換されたNURBS曲線の曲率を評価する曲率評価部、および評価された曲率をもとに送り速度指令を生成する速度指令生成部を備えたものである。

【0021】また、請求項12に記載の発明に係る数値制御装置は、速度優先を指定する選択情報が入力された場合に、単位時間の移動量が一定となるような補間制御を選択する速度優先選択部、および、精度優先を指定する選択情報が入力された場合に、トレランスを保証する補間制御を選択する精度優先選択部を備えたものである。

【0022】

【作用】請求項1に記載の発明におけるスブライン曲線位置計算部は、入力されたスブライン曲線の終点までの距離の計算結果より作成された速度指令に基づいて算出されたパラメータから、スブライン曲線上の位置を計算することにより、スブライン曲線の始点および終点での加減速制御を考慮した速度制御を行い、スブライン曲線を滑らかに補間する。

【0023】また、請求項2に記載の発明におけるパラメータ計算部は、少なくとも1処理周期前の移動量とパラメータ変化量の比を用いてスブライン曲線のパラメータを計算することにより、スブライン曲線のパラメータ計算を簡易化する。

【0024】また、請求項3に記載の発明におけるパラメータ修正部は、速度指令出力部の作成した速度指令とスブライン曲線上の移動量を比較して、パラメータ計算部の計算したパラメータを修正することにより、スブライン曲線上を正確な指令速度で補間制御する。

【0025】また、請求項4に記載の発明における終点距離計算部は、入力されたスブライン曲線が連続に接続されていると接続状態判断部で判断された場合に、後部のスブライン曲線の終点までの距離を計算することにより、複数のスブライン曲線で構成される軌跡でも、加減速制御を考慮した滑らかなスブライン曲線の補間制御を可能とする。

【0026】また、請求項5に記載の発明における速度指令生成部は、入力されたスブライン曲線の曲率の評価結果をもとに送り速度指令を生成することにより、探索長を設定しなくとも自動的な探索長の設定を可能とする。

【0027】また、請求項6に記載の発明における曲率評価部は、パラメータを所定のピッチで変化させながらスブライン曲線の曲率を評価することにより、曲率の評価を容易なものとする。

【0028】また、請求項7に記載の発明における曲率評価部は、スブライン曲線を複数の有理ベゼー曲線に変換した後、各有理ベゼー曲線についてその曲率を評価することにより、曲率の評価に要する処理時間を短縮す

る。

【0029】また、請求項8に記載の発明における曲率評価部は、変換された複数の有理ベゼー曲線の制御点に基づいてスプライン曲線の曲率を評価することにより、曲率の評価に要する処理時間をさらに短縮する。

【0030】また、請求項9に記載の発明における速度指令生成部は、入力されたスプライン曲線の各点の曲率、曲線と補間後の線分との間の許容誤差、および補間単位時間から各点の速度を求め、それを与えられた速度指令値と比較して、速度指令値の方が小さな区間は速度指令値に曲線の速度を設定することにより、パラメータ範囲として示された各区間での走行速度を適切に設定する。

【0031】また、請求項10に記載の発明における曲線変換部は、曲線入力部より入力されたNURBS曲線を複数の有理ベゼー曲線に変換して有理ベゼー曲線補間部に入力することにより、補間演算処理を高速化する。

【0032】また、請求項11に記載の発明における指令変換部は、入力される位置指令をNURBS曲線の形式に変換して曲率評価部に入力することにより、既存のNCコードとの互換性を保ち、内部処理を一元化する。

【0033】また、請求項12に記載の発明における速度優先選択部は、速度優先を指定する選択情報が入力されると単位時間の移動量が一定となるような補間制御を選択し、精度優先選択部は、精度優先を指定する選択情報が入力されるとトレランスを保証する補間制御を選択することにより、作業者が速度優先補間と精度優先補間とを自由に選択することを可能とする。

【0034】

【実施例】

実施例1. 以下、この発明の実施例1を図について説明する。図1は請求項1に記載した発明の一実施例を示すブロック図である。図において、1は軌跡指令P(t)

(ただし、tはスプライン曲線を定義しているパラメータ、以下パラメータと略す)と送り速度指令Vcomを入力する指令入力部である。なお、前記各指令は要求に応じて1ブロックあるいは複数ブロック入力され、記憶される。また、軌跡指令P(t)はスプライン曲線の形式で入力される。

【0035】2は後述する終点距離計算部、速度指令出力部、および加減速制御部よりなる速度パターン生成部であり、3は現在の指令位置からスプライン曲線の終点

$$P(t) = \sum_{i=0}^n d_i \cdot B_{Si,n}(t)$$

【0039】ここで、 $B_{Si,n}(t)$ はBスプライン関数であり、 d_i は3次元空間中の制御点である。パラメータtが決定すれば、式(1)よりスプライン曲線上の位置座標が決定する。ちなみに、パラメータt=0の時はPs点、t=1の時はPe点である。

【0040】図2において、ステップST1では、軌跡

までの距離Leを計算する前記終点距離計算部、4はこの終点距離計算部3で求めた終点までの距離Leを移動して停止できるように送り速度指令Vcomを制御し、加減速制御部へ入力する速度指令Voutとして出力する前記速度指令出力部、5はこの速度指令出力部4の速度指令Voutがなめらかに変化するように加減速制御を行う前記加減速制御部である。なお、この加減速制御は、例えば特開平1-237806号公報記載の台形加減速制御方法や従来用いられている指数関数加減速制御方法などを用いればよい。ここで、前記台形加減速制御方法は、加速度ΔFを指定してその指令加速度ΔFで加速減速を行い、指令速度となるまで加減速制御を行うように働く。加減速制御部5に入力された速度指令Voutと、出力された速度指令Vsの差の積分値は、追従距離Ldとして加減速制御部5内に記憶されており、加減速制御部5は入力Voutが0になると、加減速制御部5の出力速度Vsの積分値が前記追従距離Ldとなるまで速度指令Vsを出力し続けるように働く。この加減速制御部5の出力速度Vsはサーボ系の各軸の送り速度の合成された速度指令として出力される。

【0036】6は加減速制御部5の速度指令Vsに対応したスプライン曲線上の位置を決定するパラメータを計算するパラメータ計算部であり、このパラメータ計算部6からのパラメータと指令入力部1からの曲線指令より、サーボ制御系への指令位置(xk、yk、zk)を計算するスプライン曲線位置計算部である。

【0037】次に動作について説明する。ここで、図2は動作の全体的な処理の流れを示すフローチャートである。処理は一定処理周期(サンプリング周期)ΔTs毎に実行される。これらの処理は、CPU、メモリ、入力(I/O)インターフェイス等から構成されるコンピュータシステムで実現される。今、図3のスプライン曲線P(t) (0 ≤ t ≤ 1)が指令軌跡として与えられているものとする。Psは始点で座標が(xs、ys、zs)、Peは終点で座標値は(xe、ye、ze)、P(k-1)は現在の指令位置(1処理周期前にサーボ制御系に出力された位置指令)で座標は(x(k-1)、y(k-1)、z(k-1))とする。スプライン曲線P(t)は、例えば以下の式(1)に示すBスプライン曲線形式で表現されているものとする。

【0038】

【数1】

$$\dots\dots\dots(1)$$

指令を1ブロック読み込むか否かを判断する。もし、前記軌跡指令が読み込まれていない場合は、ステップST2で式(1)のようなBスプライン曲線形式で表現された軌跡指令1ブロックと、このブロックにおける送り速度指令を読み込む。次に、ステップST3で現在の指令位置P(k-1) (x(k-1)、y(k-1)、z(k-1))のとき

のパラメータ $t = t(k-1)$ とする。現在の指令位置 $P(k-1)$ から前記終点 P_e までの距離 L_e は例えば次の式 (2) を用いて計算する。

【0041】

【数2】

$$L_e = \sqrt{(x(k-1) - x_e)^2 + (y(k-1) - y_e)^2 + (z(k-1) - z_e)^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

【0042】その後、ステップST4～ST6において、速度指令出力部4が、終点までの距離 L_e と前記追従距離 L_d の1処理周期前の追従距離 $L_d(k-1)$ 、前記送り速度指令 V_{com} から、終点に正確に停止できるように速度指令 V_{com} を制御し、速度指令 V_{out} を出力す

る。なお、この速度指令 V_{out} は以下の式 (3)～式 (5) で示される条件で決定される。

【0043】<条件1> $L_e - L_d(k-1) \geq V_{com} * \Delta T_s$ なら、

$$V_{out} = V_{com} \quad \dots\dots\dots (3)$$

<条件2> $0 < L_e - L_d(k-1) < V_{com} * \Delta T_s$ なら、

$$V_{out} = (L_e - L_d(k-1)) / \Delta T_s \quad \dots\dots\dots (4)$$

<条件3> $0 \geq L_e - L_d(k-1)$ なら、

$$V_{out} = 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

【0044】すなわち、ステップST4では、前記条件1～3の判断を行う。条件1以外はすべて減速操作となる。条件1が成立すればYES、しないならNOの操作を行う。ステップST5では、式 (3) のごとく V_{out} を決定する。またステップST6なら、条件2、3に応じて速度指令 V_{out} を式 (4)、式 (5) の如く決定す

る。次にステップST7では、速度指令 V_{out} を加減速制御し、速度指令 V_s を計算し出力する。加減速方式は例えば前述の台形加減速方式を用いる。また追従距離 L_d を、次の式 (6) で修正し、次回の処理周期に用いる。

【0045】

$$L_d = L_d(k-1) + (V_{out} - V_s) * \Delta T_s \quad \dots\dots\dots (6)$$

【0046】次に、ステップST8では、スプライン曲線 $P(t)$ 上の現在の指令位置 P_k から微小パラメータ $\Delta t'$ だけ変化させた場合のパラメータ変化量 $\Delta t'$ と移動距離 $\Delta P'$ の比 α を求める。スプライン曲線 $P(t)$ 上の現在の位置 $P(k-1)$ の座標は前記 $(x(k-1), y(k-1), z(k-1))$ であり、パラメータが $t(k-1)$ から微

小パラメータ $\Delta t'$ 変化した $t(k-1) + \Delta t'$ における位置 $P(t(k-1) + \Delta t')$ は、前記式 (1) を用いて計算でき、そのときの座標値を $(x(k-1)', y(k-1)', z(k-1'))$ とする。なお、前記比 α は次の式 (7) により求める。

【0047】

$$\alpha = \Delta t' / \Delta P' \quad \dots\dots\dots (7)$$

【0048】ただし、上記式 (7) において移動距離 $\Delta P'$ は次の式 (8) で与えられる。

【0049】

【数3】

$$\Delta P' = \sqrt{(x(k-1) - x(k-1'))^2 + (y(k-1) - y(k-1'))^2 + (z(k-1) - z(k-1'))^2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

【0050】また、パラメータ変化量 $\Delta t'$ は、次の式 (9) が成り立つような値に設定する。

【0051】

【数4】

$$V_s * \Delta T_s = \sqrt{(x(k-1) - x(k-1'))^2 + (y(k-1) - y(k-1'))^2 + (z(k-1) - z(k-1'))^2} \quad \dots\dots\dots (9)$$

【0052】次に、ステップST9では、前記速度指令 V_{out} に対応するパラメータ変化量 Δt_k を次の式 (10)

$$\Delta t_k = \alpha * V_{out} * \Delta T_s \quad \dots\dots\dots (10)$$

【0054】次に、ステップST10では、推定したパラメータ変化量 Δt_k を用いてスプライン曲線 $P(t)$ 上の位置 $P(t(k-1) + \Delta t_k)$ を式 (1) を用いて計算する。 $P(t(k-1) + \Delta t_k)$ の座標計算値を指令位置としてサーボ制御系に出力する。その後ステップST11において、位置 $P(t(k-1) + \Delta t_k)$ の座標計算

0) を用いて推定する。

【0053】

値をそれぞれ $x(k-1) = x_k$ 、 $y(k-1) = y_k$ 、 $z(k-1) = z_k$ として、これらを次回の処理周期の現在の指令位置として記憶しておく。

【0055】なお、スプライン曲線の曲率が小さい場合には、 α を接線ベクトルから求めても同様な効果が得られる。

【0056】実施例 2. 次に、この発明の実施例 2 を図について説明する。図 4 は請求項 2 に記載した発明の一実施例を示すブロック図である。図において、1～5 および 7 は実施例 1 のそれらと同様の構成であるためその説明は省略する。また、8 は 1 処理周期前の指令位置と 2 処理周期前の指令位置から求められる 1 処理周期間の指令位置の移動量 $\Delta P(k-1)$ を求める移動量計算部である。9 はその指令位置の移動量 $\Delta P(k-1)$ と、1 処理周期前の出力したパラメータ $\Delta t(k-1)$ (1 処理周期前パラメータ Δt_k) から、パラメータと移動量の比 α を計算するとともに、加減速制御部 5 の速度指令 V_s と前記比 α 、および 1 処理周期前のパラメータ $t(k-1)$ からパラメータ t_k を求める点で、図 1 に符号 6 を付した実施

$$\Delta P(k-1) = \sqrt{(x(k-1) - x(k-2))^2 + (y(k-1) - y(k-2))^2 + (z(k-1) - z(k-2))^2}$$

【0059】次に、ステップ ST 21 において、パラメータ計算部 9 が前記 1 処理周期前のパラメータ $\Delta t(k-1)$ と 1 処理周期間の指令位置の移動量 $\Delta P(k-1)$ か

$$\alpha = \Delta t(k-1) / \Delta P(k-1)$$

【0061】なお、この方式では、スプライン曲線の始点でのパラメータと移動量の比 α はパラメータ $\Delta t(k-1)$ 、 $\Delta P(k-1)$ が存在しないので求めることができない。従って始点での比 α を求めるには、実施例 1 の式 (7) のように、微小パラメータ $\Delta t'$ 変化させた場合の移動量 $\Delta P'$ を求め、それより当該比 α を計算しておく方法を用いる。

【0062】また、上記実施例では、1 処理周期前のパラメータ $\Delta t(k-1)$ と移動量 $\Delta P(k-1)$ を用いて、パラメータと移動量の比 α を計算したが、数処理周期前のパラメータと移動量を用いて計算してもよい。

【0063】実施例 3. 次に、この発明の実施例 3 を図について説明する。図 6 は請求項 3 に記載した発明の一実施例を示すブロック図である。図において、1～7 は実施例 1 のそれらと同様の構成であるためその説明は省略する。また、10 はパラメータ計算部 6 で求めたパラメータが妥当であるか否かを判断し、妥当でない場合にはパラメータを修正し、スプライン曲線位置計算部 7 で

$$\beta = V_s * \Delta T_s - \Delta P_k$$

【0066】ここで、この移動量の差 β は速度誤差に対応する値であり、パラメータ Δt_k の計算誤差により生じる。なお、移動量 ΔP_k は次の式 (14) により求め

$$\Delta P_k = \sqrt{(x_k - x(k-1))^2 + (y_k - y(k-1))^2 + (z_k - z(k-1))^2} \quad \dots \dots \dots (14)$$

【0068】次にステップ ST 32 では、移動量の差 β が許容値以下であるか否かを判断する。差 β が許容値以下なら、処理はステップ ST 34 へ移り、そうでない場合はステップ ST 33 に移る。なお、前記許容値はサーボ制御系が許容できる最大加速度等から決定される値で

例 1 のものとは異なったパラメータ計算部である。

【0057】次に動作について説明する。ここで、図 5 は動作の流れを示すフローチャートであり、ステップ ST 1～ST 7 およびステップ ST 8～ST 11 は図 2 のそれと同等の処理が行われるものであるためその説明は省略する。ステップ ST 20 では前回の処理周期のサーボ系への指令位置 ($x(k-1)$ 、 $y(k-1)$ 、 $z(k-1)$) と前々回の処理周期のサーボ系への指令位置 ($x(k-2)$ 、 $y(k-2)$ 、 $z(k-2)$) から移動量 $\Delta P(k-1)$ を次の式 (11) より求める。

【0058】

【数 5】

$$\dots \dots \dots (11)$$

ら、次の式 (12) によりパラメータと移動量の比 α を計算する。

【0060】

$$\dots \dots \dots (12)$$

求めるサーボ制御系への位置指令を修正するパラメータ修正部である。

【0064】次に動作について説明する。ここで、図 7 は動作の流れを示すフローチャートであり、ステップ ST 1～ST 9 および ST 11 は図 2 のそれと同等の処理が行われるものであるためその説明は省略する。ステップ ST 30 では図 2 のステップ ST 10 と同様、ステップ ST 9 で求めたパラメータ Δt_k を用いて、スプライン曲線上の位置 $P(t(k-1) + \Delta t_k)$ を式 (1) を用いて計算し、座標値 (x_k 、 y_k 、 z_k) を求める。次に、ステップ ST 31 では、加減速制御部 5 から出力される指令速度 V_s の 1 処理周期間の移動量 $V_s * \Delta T_s$ と、前回の処理周期で計算された指令位置 ($x(k-1)$ 、 $y(k-1)$ 、 $z(k-1)$) と今回計算される前記指令位置 (x_k 、 y_k 、 z_k) から 1 処理周期間の指令位置の移動量 ΔP_k の差 β を次の式 (13) により求める。

【0065】

$$\dots \dots \dots (13)$$

る。

【0067】

【数 6】

ある。ステップ ST 34 では、ステップ ST 31 で求めた前記指令位置 (x_k 、 y_k 、 z_k) をサーボ系の位置指令として出力する。一方、ステップ ST 34 では、パラメータ Δt_k を修正する。例えば、次の式 (15) を用いて修正する。

【 0 0 6 9 】

$$\Delta tk = (Vs * \Delta Ts / \Delta Pk) * \Delta tk \quad \dots \dots (15)$$

【 0 0 7 0 】ここで修正されたパラメータ Δtk を用いて、再度ステップ ST 3 0 でスプライン曲線上の位置を計算し、パラメータ Δtk 、すなわち差 β が規定値以下となるまでステップ ST 3 0 ~ ST 3 3 による処理が繰り返行われる。

【 0 0 7 1 】なお、この実施例のパラメータ修正方法は、実施例 2 のパラメータ計算手法と組み合わせると、速度指令に応じたパラメータが簡単にしかも正確に求められる。

【 0 0 7 2 】実施例 4. 次に、この発明の実施例 4 を図について説明する。図 8 は請求項 4 に記載した発明の一実施例を示すブロック図である。図において、1 ~ 5 および 7 は実施例 1 のそれらと同様であるためその説明は省略する。また、11 は速度指令を減速するか否かの判断を後述の接続状態判断部に出力する点で、図 1 に符号 6 を付した実施例 1 のものとは異なるパラメータ変換部である。12 は軌跡指令が複数のスプライン曲線で表されている場合、各スプライン曲線間の接続状態が連続に接続されているか否かを判断し、接続状態が連続であると判断すれば、スプライン曲線の終点の位置を変更する接続状態判断部である。なお、この接続状態判断部 12 による接続状態が連続であるか否かの判断は、例えば接続点での接線ベクトルの向きと長さで判断することができる。また、軌跡指令が B スプライン曲線で表現されている場合は、接続点付近での前記 B スプライン曲線を表現する制御点の位置関係から判断することもできる。

【 0 0 7 3 】次に動作について説明する。ここで、図 9 は動作の流れを示すフローチャートであり、ステップ ST 1 ~ ST 11 は実施例 1 の図 2 のそれと同等の処理が行われるものであるためその説明は省略する。今、図 10 および 11 のように、軌跡指令が 2 つの B スプライン曲線 P1(t)、P2(t) で表されているとする。P1s は P1

(t) の始点、P1e(t) は P1(t) の終点、P2s は P2(t) の始点、P2e(t) は P2(t) の終点であり、P1e と P2s は一致している。図 10、11 の軌跡指令を P1s から始動し、速度指令 V_{com} で移動するものとし、終点 P2e で停止するものとする。Pa、Pb 点は P1(t) 上の指令位置であり、Pa はスプライン曲線 P1(t) の終点 P1e までの距離が減速制御するのに十分な距離がある場合であり、Pb はスプライン曲線 P1(t) の終点 P1e までの距離が減速制御するのに十分でない場合である。

【 0 0 7 4 】例えば、現在の指令位置が前記 Pa の場合、ステップ ST 3 では、現在の指令位置 Pa と P1e の距離を計算し、ステップ ST 4 で減速操作の必要なしと判断し、ステップ ST 5 へと処理が流れる。しかし、現在の指令位置が Pb のとき位置にきた場合、ステップ ST 4 で減速操作の必要があると判断すると、処理はステップ ST 4 0 に進み、次の軌跡指令があるか否かの判断が行われる。もし、次の軌跡指令が存在しなければステップ ST 6 へ、存在すればステップ ST 4 1 へそれぞれ処理が移る。ステップ ST 4 1 では、次の軌跡指令 (図 10、11 では P2(t)) が、現在移動している軌跡指令 (図 10、11 の P1(t)) と連続に接続されているかどうかを接続状態判断部 12 で判断する。もし、図 10 のごとく連続に接続されていると判断すればステップ ST 4 2 の処理に、また図 11 のごとく連続に接続されていないと判断すれば、P1(t) の終点 P1e で減速、停止するようにステップ ST 6 の処理を行う。ステップ ST 4 2 では、接続点が連続であるので、終点を次の軌跡指令 P2(t) の終点 P2e として、再びステップ ST 3 で終点までの距離 L_e を次の式 (16) によって計算しなおし、ステップ ST 4 の処理へと移る。

【 0 0 7 5 】

【 数 7 】

$$L_e = \sqrt{(x_a - x_{2e})^2 + (y_a - y_{2e})^2 + (z_a - z_{2e})^2} \quad \dots \dots (16)$$

【 0 0 7 6 】ただし、現在の指令位置 Pb の座標値を (x_b 、 y_b 、 z_b)、P2e の座標値を (x_{2e} 、 y_{2e} 、 z_{2e}) とする。

【 0 0 7 7 】このように、スプライン曲線の軌跡指令の接続状態を判断して終点の位置を変更し、速度制御を行うので、軌跡指令が複数のスプライン曲線で表現されている場合でも滑らかな補間制御を行うことができる。

【 0 0 7 8 】実施例 5. 次に、この発明の実施例 5 を図について説明する。この実施例 5 は請求項 5 ~ 9 に記載した発明の一実施例であり、図 12 は当該実施例 5 による数値制御装置の構成を示すブロック図である。図において、21 は NURBS 形式のスプライン曲線を入力する曲線入力部である。なお、そのフォーマットは G コード、IGES (イニシャル・グラフィックス・エクスチェ

ンジ・スペシフィケーション; Initial Graphics Exchange Specification) などの交換フォーマットを入力形式にすればよく、この曲線入力部 21 によって当該数値制御装置内部に保管すべき曲線データが保存されることとなる。22 はこの曲線入力部 21 より入力されたスプライン曲線の曲率を評価して、その結果を内部データとして保存する曲率評価部であり、23 は入力されたスプライン曲線の曲線データ、曲率評価部 22 で評価された曲率評価データ、および与えられた速度指令値をもとにして、曲線の各位置における送り速度指令を生成する速度指令生成部である。24 はこの速度指令生成部 23 で生成された送り速度指令の値に対応して、各軸のパルス数を計算する加減速制御および補間部である。

【 0 0 7 9 】次に動作について説明する。ここで、図 1

3は当該数値制御装置の動作の流れの全体を示すフローチャートである。まず、ステップST51において、NURBS曲線を複数の有理ベゼー曲線に変換する。次にステップST52において、それぞれの有理ベゼー曲線の曲率の範囲を計算する。そして、最後にステップST53にてそれぞれの有理ベゼー曲線における送り速度を

$$P(t) = \frac{\sum_{i=0}^n w_i \cdot d_i \cdot B S_{i,n}(t)}{\sum_{i=0}^n w_i \cdot B S_{i,n}(t)}$$

【0082】なお、この式(17)においても、 $B S_{i,n}(t)$ はBスプライン関数、 d_i は三次元空間中の制御点であり、 w_i は重みである。この制御点 d_i および重み w_i を変えることによって、曲線形状を変えることがき

$$k = \frac{P' \times P''}{|P'|}$$

【0084】ここで、上記式(18)における P' はNURBS曲線を示す式(17)の1次導関数であり、 P'' は同じく2次導関数である。

【0085】今、図14に示すようなNURBS曲線が与えられたとする。図中の記号A~Hはそれぞれ曲線上の位置を示している。この図14に示したNURBS曲線の曲率の変化を示したものが図15である。この図15では横軸にパラメータを、縦軸に曲率をとって、点Aから点Hまでの各点に対応して曲率がどのように変化しているかを示したものであり、それをもとに送り速度を設定することになる。

【0086】ここで、図16は曲率評価部22における処理手順の一例を示すフローチャートである。まず、ステップST61にてパラメータ t の値の初期設定を行い、次にステップST62において曲率 k の計算をする。得られた曲率 k は与えられた指令速度 F_s で送ることが可能か否かがステップST63で判定され、与えられた指令速度では補間できない速度低減の必要なパラメータ区間を登録してゆく。以下、ステップST65でパラメータ t を所定ピッチ Δt ずつインクリメントしながら

$$P(t) = \frac{\sum_{i=0}^n w_i \cdot d_i \cdot B Z_{i,n}(t)}{\sum_{i=0}^n w_i \cdot B Z_{i,n}(t)}$$

【0090】一方、曲線の曲率 k は前述のように式(18)で表現されるが、式(19)を代入することにより、この有理ベゼー曲線の曲率は次の式(20)の形に

設定する。以降それぞれのステップST51~ST53に関し、その詳細を述べる。

【0080】ここで、NURBS曲線は一般に次の式(17)のように表現される。

【0081】

【数8】

..... (17)

る。一方、曲線の曲率 k は次の式(18)で表現される。

【0083】

【数9】

..... (18)

ら、ステップST66においてパラメータ t がその最大値を超えたことが検出されるまで、ステップST62~ST66の処理が繰り返される。

【0087】これによって、図15に示した例においては、補間できないパラメータ区間であるBC、DE、FGがそれぞれパラメータ t_b から t_c 、 t_d から t_e 、 t_f から t_g というように登録されてゆくことになる。なお、この方法の欠点はパラメータをインクリメントするピッチによって曲率が評価できないことがある可能性が生ずるという点と、パラメータの最小値から最大値まで多数の点で調べあげなければならず、前処理演算に時間がかかる点にある。

【0088】図17は曲率評価部22における処理手段の他の例を示したフローチャートを示したものであり、NURBS曲線を複数の有理ベゼー曲線に変換し、それぞれの有理ベゼー曲線において曲率の取り得る範囲を演算する。この方法について詳しく述べる。一般に、有理ベゼー曲線は次の式(19)のように表現される。

【0089】

【数10】

..... (19)

変形できる。

【0091】

【数11】

17

18

$$\frac{|w(t)P'(t) \times P''(t) - w'(t)P(t) \times P''(t) + w''(t)P(t) \times P'(t)|}{|P'(t) \times w(t) - w'(t) \times P(t)|^3} \cdot |w(t)|^3 \quad (20)$$

【0092】この式(20)の絶対値記号で囲まれた式はすべてベゼー式で表現することができ、次の式(21)のように表現できる。

$$k = |A| \cdot |B|^3 / |C|^3 \quad (21)$$

$$A = \sum_{i=0}^l F A_i \cdot B Z_{i,1}(t)$$

$$B = \sum_{j=0}^m F B_j \cdot B Z_{j,m}(t)$$

$$C = \sum_{k=0}^n F C_k \cdot B Z_{k,n}(t)$$

【0094】ところでベゼー式で表現された式は凸閉包性を有している。図18は凸閉包性について説明するための説明図である。ベゼー曲線の制御点が図18のように Q_0 から Q_n によって表されているとしよう。このとき曲線CVは制御点 Q_0 から Q_n の作る凸体V1の中に必ず存在するという性質のことを凸閉包性という。この性質を使用すれば、曲線CV1の絶対値の取りうる範囲

$$k_{\min} \leq k \leq k_{\max}$$

【0096】ここで、この k_{\min} および k_{\max} の曲率kの最小値および最大値よりもそれぞれ小さめおよび大きめに得られるが、曲線の大局的な性質を知る上では有用な特性値であるといえる。以上のように曲率の特性値 k_{\min} および k_{\max} は制御点だけから得られるため、前述の方法と比較して演算が速くなるという利点がある。

【0097】次に、この曲率評価部22の処理結果をもとに、速度指令生成部23にて速度指令を生成する。図

$$\Delta l = 2\sqrt{(2\tau/k) - \tau^2}$$

【0099】したがって、サンプル時間を ΔT とすればトレランス τ を保証するに必要な速度の最大値 F_{\max} は次の式(24)で得られる。

$$F_{\max} = 2\sqrt{(2\tau/k) - \tau^2} / \Delta T$$

【0101】次のステップST82では、与えられた速度指令値 F_s と比較し、ステップST83およびST84で値の小さいものを選んで実際の送り速度 F を決定する。図21はこのようにして得られた速度指令の一例を示す説明図である。区間AB、区間CD、区間EFおよび区間GHでは与えられた指令速度 F_s が取られ、区間BCと区間FGでは速度 F_1 が取られ、区間DEでは速度 F_2 が取られる。このように、速度指令生成部23に

【0093】

【数12】

を知ることが可能である。従って、この性質を利用すれば、有理ベゼー曲線の曲率は式(21)のA、B、Cの各式がベゼー式になっていることを使って曲率kの取りうる範囲を知ることができる。すなわち、次の式(22)の k_{\min} および k_{\max} を得ることができる。

【0095】

$$\dots\dots\dots (22)$$

19は速度指令生成部23の処理手順を示すフローチャートである。まず、ステップST81でトレランス τ 、 k_{\max} およびサンプル時間 ΔT から最高速度 F_{\max} を求める。図20に示すように、曲率kとトレランス τ および補間線分長 Δl との間の関係は次の式(23)で表現できる。

【0098】

【数13】

$$\dots\dots\dots (23)$$

【0100】

【数14】

$$\dots\dots\dots (24)$$

においては、パラメータ範囲として示された区間と、その区間での走行速度を求めることになる。

【0102】図22は得られた速度指令をもとに、加減速制御および補間部24の処理について説明するための説明図である。加減速制御および補間部24は与えられた加速度を超えないように、指令速度パターンをもとに実際にサーボ系へ送り出すパルスを生成することになる。この加減速制御および補間部24への入力データ

は、曲線の区間と指令速度、前後の指令速度と許容加速度である。その区間における速度がその前の区間の速度より速い場合は所定加速度を超えない範囲で加速制御を行う。また、その区間における速度がその後の区間の速度より速い場合は所定加速度を超えない範囲で減速制御を行う。この減速制御においては区間終了点に行き着くようにその点と現在地点との距離を毎回チェックしながら速度の低減処理を行ってゆく。

【0103】実施例6. 次に、この発明の実施例6を図について説明する。図23は請求項11に記載した発明の一実施例を示すブロック図であり、図において、21は位置指令値がNURBS曲線の形式で表現されて入力される、図12に同一符号を付したものと同等の曲線入力部である。また、25はこの曲線入力部21より入力されたNURBS曲線を複数の有理ベゼー曲線に変換する曲線変換部であり、26はこの曲線変換部25によって変換された各有理ベゼー曲線を補間する有理ベゼー曲線補間部である。

【0104】次に動作について説明する。ここで、図24はこの実施例6による数値制御装置の処理の流れを示すフローチャートである。曲線変換部25はまず、ステップST91において、曲線入力部21より入力された補間すべきNURBS曲線を複数の有理ベゼー曲線に一旦変換し、それを有理ベゼー曲線補間部26に出力す

る。それを受けた有理ベゼー曲線補間部26は、ステップST92で有理ベゼー曲線の番号*i*を初期値1に設定した後、ステップST93においてその*i*番目の有理ベゼー曲線の補間処理を実行する。以下、ステップST94で*i*を1ずつインクリメントしながら、ステップST95でその*i*が曲線変換部21より送られてきた有理ベゼー曲線の数と等しくなったことが検出されるまで、ステップST93～ST95の処理を繰り返す。このようにして、曲線変換部25でNURBS曲線より変換された複数の有理ベゼー曲線は順番に補間処理され、全ての有理ベゼー曲線の補間処理が済むと一連の処理は終了する。

【0105】ここで、NURBS曲線は制御点およびノットベクトルから表現され、有理ベゼー曲線は制御点のみで表現される。そして、このNURBS曲線は3次式の場合、次のように複数の有理ベゼー曲線に変換される。すなわち、NURBS曲線の制御点（頂点座標値）が $\underline{d}_0, \underline{d}_1, \dots, \underline{d}_{L-1}$ 、重みが w_0, w_1, \dots, w_{L-1} 、ノットベクトルが u_0, u_1, \dots, u_L で与えられ、そして、 $\Delta_i \sim \Delta_L$ を $\Delta_i = u_{i+1} - u_i$ と定義すると、前記複数の有理ベゼー曲線は $i = 1 \sim L-1$ で次の式(25)のように表現される。

【0106】

【数15】

$$\left. \begin{aligned} v_{3i} \cdot \underline{b}_{3i} &= \frac{\Delta_i}{\Delta_{i-1} + \Delta_i} v_{3i-1} \cdot \underline{b}_{3i-1} + \frac{\Delta_{i-1}}{\Delta_{i-1} + \Delta_i} v_{3i+1} \cdot \underline{b}_{3i+1} \\ v_{3i-2} \cdot \underline{b}_{3i-2} &= \frac{\Delta_{i-1} + \Delta_i}{\Delta} w_i \cdot \underline{d}_i + \frac{\Delta_{i-2}}{\Delta} w_{i+1} \cdot \underline{d}_{i+1} \\ v_{3i-1} \cdot \underline{b}_{3i-1} &= \frac{\Delta_i}{\Delta} w_i \cdot \underline{d}_i + \frac{\Delta_{i-2} + \Delta_{i-1}}{\Delta} w_{i+1} \cdot \underline{d}_{i+1} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (25)$$

【0107】ここで、上記式(25)における $\underline{b}_{3i}, \underline{b}_{3i-1}, \underline{b}_{3i-2}$ は有理ベゼー曲線の制御点であり、また、 $v_{3i}, v_{3i-1}, v_{3i-2}$ は各有理ベゼー曲線の重み

で、次の式(26)によって与えられる。

【0108】

【数16】

$$\left. \begin{aligned} v_{3i} &= \frac{\Delta_i}{\Delta_{i-1} + \Delta_i} v_{3i-1} + \frac{\Delta_{i-1}}{\Delta_{i-1} + \Delta_i} v_{3i+1} \\ v_{3i-2} &= \frac{\Delta_{i-1} + \Delta_i}{\Delta} w_i + \frac{\Delta_{i-2}}{\Delta} w_{i+1} \\ v_{3i-1} &= \frac{\Delta_i}{\Delta} w_i + \frac{\Delta_{i-2} + \Delta_{i-1}}{\Delta} w_{i+1} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (26)$$

【0109】なお、上記式(26)の Δ は、 $\Delta = \Delta_{i-2} + \Delta_{i-1} + \Delta_i$ である。また、 $i = 0$ および $i = L$ の場

合、すなわち、最初と最後は次の式 (27) および式 (28) で示すものとなる。

【0110】

【数17】

$$\left. \begin{aligned} v_0 \cdot \underline{b_0} &= w_0 \cdot \underline{d_0} \\ v_1 \cdot \underline{b_1} &= w_1 \cdot \underline{d_1} \\ v_2 \cdot \underline{b_2} &= \frac{\Delta_1}{\Delta_0 + \Delta_1} w_1 \cdot \underline{d_1} + \frac{\Delta_0}{\Delta_0 + \Delta_1} w_2 \cdot \underline{d_2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (27)$$

【数18】

$$\left. \begin{aligned} v_{3L-2} \cdot \underline{b_{3L-2}} &= \frac{\Delta_{L-1}}{\Delta_{L-2} + \Delta_{L-1}} w_L \cdot \underline{d_L} + \frac{\Delta_{L-2}}{\Delta_{L-2} + \Delta_{L-1}} w_{L+1} \cdot \underline{d_{L+1}} \\ v_{3L-1} \cdot \underline{b_{3L-1}} &= w_{L+1} \cdot \underline{d_{L+1}} \\ v_{3L} \cdot \underline{b_{3L}} &= w_{L+2} \cdot \underline{d_{L+2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (28)$$

【0111】これら式 (27) , (28) における、 v_0, v_1, v_2 および $v_{3L-2}, v_{3L-1}, v_{3L}$ は次の式 (29) および式 (30) で示すものとなる。

【0112】

【数19】

$$\left. \begin{aligned} v_0 &= w_0 \\ v_1 &= w_1 \\ v_2 &= \frac{\Delta_1}{\Delta_0 + \Delta_1} w_1 + \frac{\Delta_0}{\Delta_0 + \Delta_1} w_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (29)$$

【数20】

$$\left. \begin{aligned} v_{3L-2} &= \frac{\Delta_{L-1}}{\Delta_{L-2} + \Delta_{L-1}} w_L + \frac{\Delta_{L-2}}{\Delta_{L-2} + \Delta_{L-1}} w_{L+1} \\ v_{3L-1} &= w_{L+1} \\ v_{3L} &= w_{L+2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (30)$$

【0113】このような変換は図25に示したように、NURBS曲線の制御点 $\underline{d_0}$ から $\underline{d_L}$ を有理ベゼー曲線の制御点 $\underline{b_0}$ から $\underline{b_L}$ に変換するもので、 $\underline{b_0}$ から $\underline{b_2}$, $\underline{b_2}$ から $\underline{b_4}$, $\underline{b_4}$ から $\underline{b_6}$ のそれぞれの制御点の組が、図26に示したCV1、CV2、CV3の3本の有理ベゼー曲線になる。

【0114】このような変換が行われた後、この実施例6による数値制御装置においては、有理ベゼー曲線を補間する機能を有した有理ベゼー曲線補間部26を備えているため、NURBS曲線を直接補間制御するのと同様な効果が得られる。なお、この有理ベゼー曲線補間部2

6による補間は、実施例5の説明で述べた方法によって実現することができる。このようにNURBS曲線を有理ベゼー曲線に変換して補間するものであるため、重たいNURBS曲線の演算をする必要がなくなり、NURBS補間の処理を高速に行うことができる数値制御装置を実現できる。

【0115】なお、この実施例6はNURBS曲線に対しても適用されることは言うまでもない。

【0116】実施例7. 次に、この発明の実施例7を図について説明する。図27は請求項11に記載した発明の一実施例を示すブロック図であり、図において、27

40

50

は従来から使用されてきたGコードによる直線指令、円弧指令、楕円指令などが入力されてきた場合には、入力された位置指令のデータをNURBS曲線の形式に変換して曲率評価部22へ入力する指令変換部である。なお、他の部分については、図12の相当部分と同一の符号を付してその説明を省略する。

【0117】次に動作について説明する。位置指令のデータがNURBS曲線の形式で入力された場合、曲線入力部21でそれを受け取って曲率評価部22に入力する。一方、位置指令が従来から使用されてきたGコードによる直線指令、円弧指令、楕円指令などで入力されてきた場合には、それを指令変換部27に入力してその位置指令のデータをNURBS曲線の形式に一旦変換してから曲率評価部22へ入力する。以降の処理は実施例5で説明したものと同等に進行するため、その説明は省略する。これにより、Gコードなどの既存のNCコードとの互換性を保つことが可能となり、内部処理を一元化することもできる。

【0118】実施例8. 次に、この発明の実施例8を図について説明する。図28は請求項12に記載した発明の一実施例を示すブロック図である。図において、31は補間処理を速度優先と精度優先のいずれで実行するかを指令する選択情報が入力される選択情報入力部であり、32は速度優先を指定する選択情報が入力された場合に、単位時間の移動量が一定となるような補間制御を選択する速度優先選択部、33は精度優先を指定する選択情報が入力された場合に、トレランスを保証する補間制御を選択する精度優先選択部である。34はこれら速度優先選択部32あるいは精度優先選択部33によって選択された補間制御に従ってスプライン曲線の補間処理を実行する曲線補間部である。

【0119】次に動作について説明する。ここで、図29はこの実施例8による数値制御装置の全体動作の流れを示すフローチャート、図30はそのスプライン補間処理の手順を示すフローチャートであり、図31はその言語入力の一例を示す説明図である。この図31に示したシーケンス番号004のGコード“G9.0”は精度優先モードを指令する選択情報としての精度優先コードであり、シーケンス番号010のGコード“G9.1”は速度優先モードを指令する選択情報としての速度優先コードである。すなわち、シーケンス番号004の“G9.0”以降で精度優先モードに入り、シーケンス番号010の“G9.1”以降で速度優先モードに入る。なお、何も設定されていない場合にはデフォルトで精度優先となる。

【0120】図29に示すように、処理が開始されるとステップST101において、まずプログラムを一行ずつ読み込んでゆく。次いで、読み込んだコードが速度優先コードであるか否かをステップST102で、精度優先コードであるか否かをステップST103でそれぞれ

判定し、速度優先コードであればステップST104で内部変数cnt1を“0”に、精度優先コードであればステップST105で内部変数cnt1を“1”にする。また、そのいずれでもなかった場合には、ステップST106においてそれがスプライン補間コードであるか否かの判定を行い、スプライン補間コードでなければステップST107で通常のコード処理を実行し、スプライン補間コードであればステップST108でスプライン補間処理を実行する。

【0121】スプライン補間処理が開始されると、まず図30のステップST111において、内部変数cnt1が“0”であるか否かの判定が行われる。その結果、内部変数cnt1が“0”であればステップST112で、速度優先選択部32によって単位時間の移動量が一定となるような速度優先の補間制御が選択され、曲線補間部34はそれに基づいて速度優先によるスプライン曲線の補間処理を実行する。一方、内部変数cnt1が“1”であればステップST113で、精度優先選択部33によってトレランスを保証する補間制御が選択され、曲線補間部34はそれに基づいて精度優先によるスプライン曲線の補間処理を実行する。

【0122】なお、精度優先による補間処理の具体的な方法は、実施例1で説明した方法によって実現できる。また、速度優先による補間処理は、単位時間に移動すべき距離を求め、その距離に対応するパラメータの増分値を求めて位置指令値を出力することによって実現できる。

【0123】以上のように、この実施例8の数値制御装置によれば、入力された速度優先モードを指令する選択情報と精度優先モードを指令する選択情報により、スプライン曲線の補間処理の種類を作業者が選択できるようになる。

【0124】

【発明の効果】以上のように、請求項1に記載の発明によれば、入力されたスプライン曲線の終点までの距離に基づく速度指令より算出されたパラメータからスプライン曲線上の位置を計算するように構成したので、加減速制御を行いながらスプライン曲線の補間を行うことが可能となり、軌跡がスプライン曲線で表現されている場合でも工作機械を滑らかに制御することが可能となり、機械工作の高速化、高精度化をはかることができる効果がある。

【0125】また、請求項2に記載の発明によれば、少なくとも1処理周期前の移動量とパラメータ変化量の比を用いてスプライン曲線のパラメータを計算するように構成したので、スプライン曲線のパラメータの計算時間を短縮でき、数値制御装置のコスト低減が期待できる効果がある。

【0126】また、請求項3に記載の発明によれば、パラメータ計算部の算出したパラメータを、速度指令出力

部の作成した速度指令とスプライン曲線上の移動量との比較に基づいて修正するように構成したので、正確な速度制御を行うことが可能となって、機械工作の高速化、高精度化をはかることができる効果がある。

【0127】また、請求項4に記載の発明によれば、複数のスプライン曲線で表現された軌跡でも、それらが連続に接続されていると判断された場合には後部のスプライン曲線の終点までの距離を計算するように構成したので、複数のスプライン曲線による複雑な軌跡でも工作機械を滑らかに制御することが可能となり、機械工作の高速化、高精度化をはかることができる効果がある。

【0128】また、請求項5に記載の発明によれば、入力されたスプライン曲線の曲率の評価結果をもとに送り速度指令を生成するように構成したので、与えられた曲線の曲がり具合によって補間速度が制御され、加工後の精度を向上させることが可能となり、さらに、無理な加減速も防止できるようになって工作機械の異常振動を低減できる効果がある。

【0129】また、請求項6に記載の発明によれば、パラメータを所定のピッチで変化させながらスプライン曲線の曲率を評価するように構成したので、曲率の評価が容易となって、機械工作の高速化がはかれる効果がある。

【0130】また、請求項7に記載の発明によれば、スプライン曲線を複数の有理ベゼー曲線に変換して、その各々について曲率を評価するように構成したので、曲率の評価に要する処理時間が短縮でき、機械工作の高速化がはかれる効果がある。

【0131】また、請求項8に記載の発明によれば、変換された複数の有理ベゼー曲線の制御点に基づいてスプライン曲線の曲率を評価するように構成したので、曲率の評価に要する処理時間をさらに短縮することが可能となり、機械工作の高速化がはかれる効果がある。

【0132】また、請求項9に記載の発明によれば、スプライン曲線の各点の曲率、曲線と補間後の線分の許容誤差、補間単位時間などから求めた各点の速度を、与えられた速度指令値と比較し、速度指令値の方が小さな区間は速度指令値に曲線の速度を設定するように構成したので、パラメータ範囲として示された各区間での走行速度が適切に設定でき、機械工作の高精度化がはかれる効果がある。

【0133】また、請求項10に記載の発明によれば、入力されたNURBS曲線を複数の有理ベゼー曲線に変換した後、それら各有理ベゼー曲線の補間を行うように構成したので、演算の重たいNURBS曲線の演算を行う必要がなくなり、補間演算処理を高速化に実現できる効果がある。

【0134】また、請求項11に記載の発明によれば、既存のNCコードで入力された位置指令はNURBS曲線の形式に変換して曲率評価部に入力するように構成し

たので、既存のNCコードとの互換性を保つことが可能となるばかりか、内部処理を一元化することもできる効果がある。

【0135】また、請求項12に記載の発明によれば、速度優先を指定する選択情報が入力された場合には単位時間の移動量が一定となるような補間制御を選択し、精度優先を指定する選択情報が入力された場合にはトレランスを保証する補間制御を選択するように構成したので、速度優先補間と精度優先補間とを自由に選択することが可能となり、作業者の選択の自由度が増すという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施例1による数値制御装置を示すブロック図である。

【図2】上記実施例の動作の流れを示すフローチャートである。

【図3】上記実施例におけるスプライン曲線の一例を示す説明図である。

【図4】この発明の実施例2による数値制御装置を示すブロック図である。

【図5】上記実施例の動作の流れを示すフローチャートである。

【図6】この発明の実施例3による数値制御装置を示すブロック図である。

【図7】上記実施例の動作の流れを示すフローチャートである。

【図8】この発明の実施例4による数値制御装置を示すブロック図である。

【図9】上記実施例の動作の流れを示すフローチャートである。

【図10】上記実施例におけるスプライン曲線の一例を示す説明図である。

【図11】上記実施例におけるスプライン曲線の他の例を示す説明図である。

【図12】この発明の実施例5による数値制御装置を示すブロック図である。

【図13】上記実施例の全体動作の流れを示すフローチャートである。

【図14】上記実施例におけるNURBS曲線の一例を示す説明図である。

【図15】上記NURBS曲線の曲率の変化を示す説明図である。

【図16】上記実施例の曲率評価部の動作の一例を示すフローチャートである。

【図17】上記曲率評価部の動作の他の例を示すフローチャートである。

【図18】上記実施例における有理ベゼー曲線の凸閉包性について説明するための説明図である。

【図19】上記実施例の速度指令生成部の動作の流れを示すフローチャートである。

【図 20】曲率とトレランスおよび補間線分長の関係を示す説明図である。

【図 21】上記実施例の速度指令生成部が生成する速度指令の一例を示す説明図である。

【図 22】上記実施例の加減速制御および補間部における上記速度指令に基づく動作を説明するための説明図である。

【図 23】この発明の実施例 6 による数値制御装置を示すブロック図である。

【図 24】上記実施例の動作の流れを示すフローチャートである。

【図 25】上記実施例における NURBS 曲線から有理ベゼー曲線への変換を示す説明図である。

【図 26】変換された上記有理ベゼー曲線を示す説明図である。

【図 27】この発明の実施例 7 による数値制御装置を示すブロック図である。

【図 28】この発明の実施例 8 による数値制御装置を示すブロック図である。

【図 29】上記実施例の全体動作の流れを示すフローチャートである。

【図 30】上記実施例のスプライン補間処理の流れを示すフローチャートである。

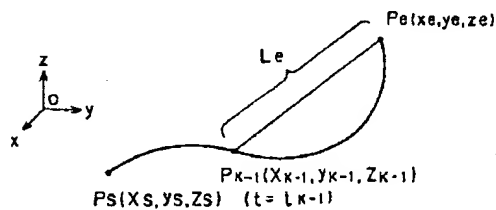
【図 31】上記実施例の言語入力の一例を示す説明図である。

【図 32】従来の数値制御装置を示すブロック図である。

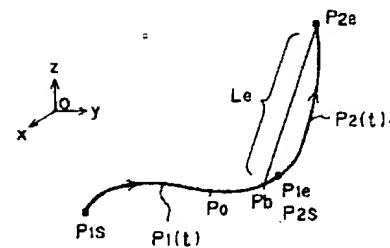
【符号の説明】

- 1 指令入力部
- 3 終点距離計算部
- 4 速度指令出力部
- 6 パラメータ計算部
- 7 スプライン曲線位置計算部
- 9 パラメータ計算部
- 10 パラメータ修正部
- 11 パラメータ変換部
- 12 接続状態判断部
- 21 曲線入力部
- 22 曲率評価部
- 23 速度指令生成部
- 25 曲線変換部
- 26 有理ベゼー曲線補間部
- 27 指令変換部
- 31 選択情報入力部
- 32 速度優先選択部
- 33 精度優先選択部

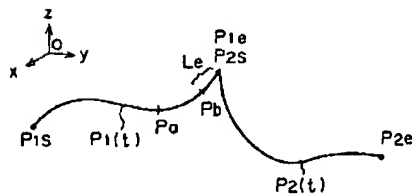
【図 3】



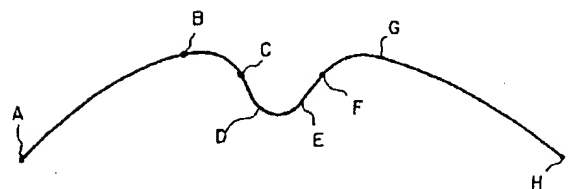
【図 10】



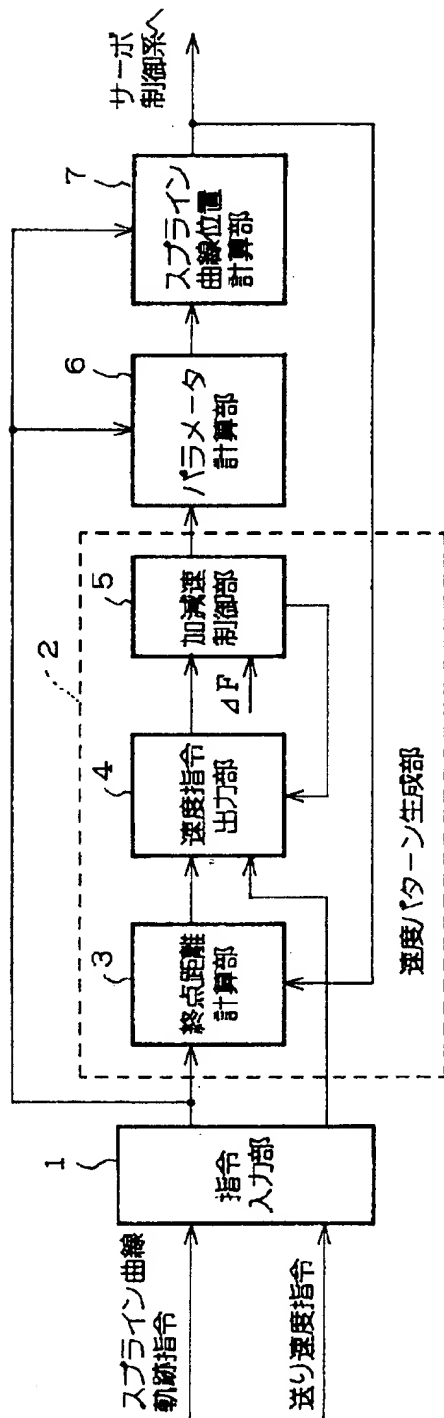
【図 11】



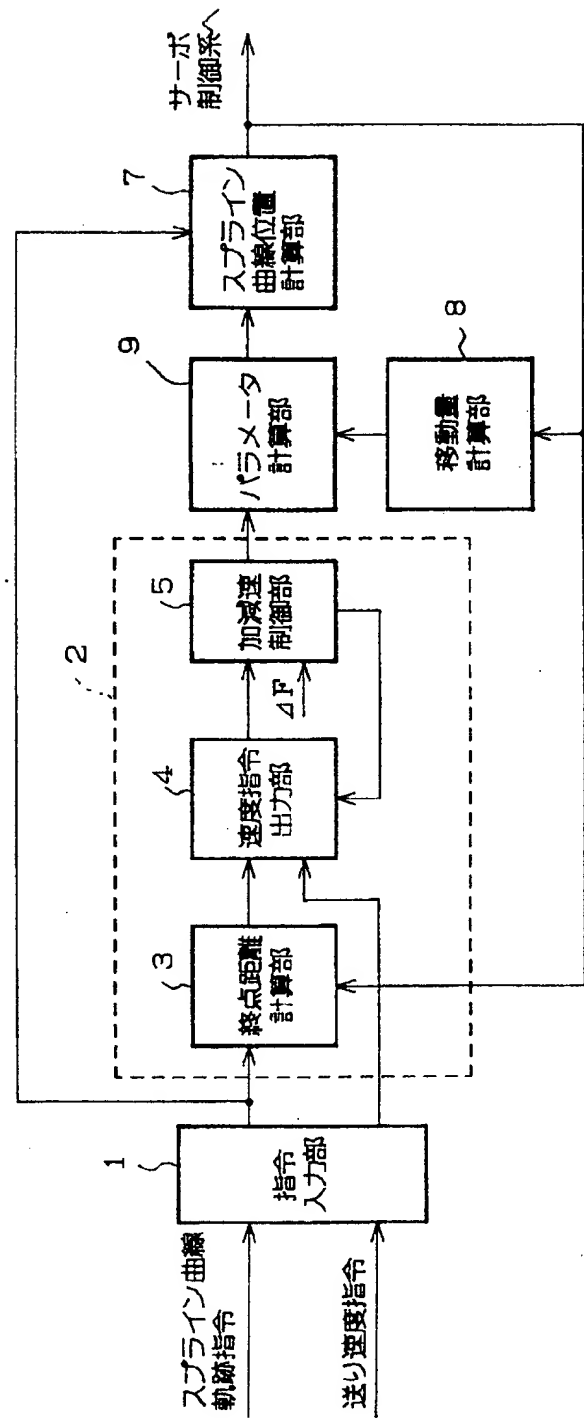
【図 14】



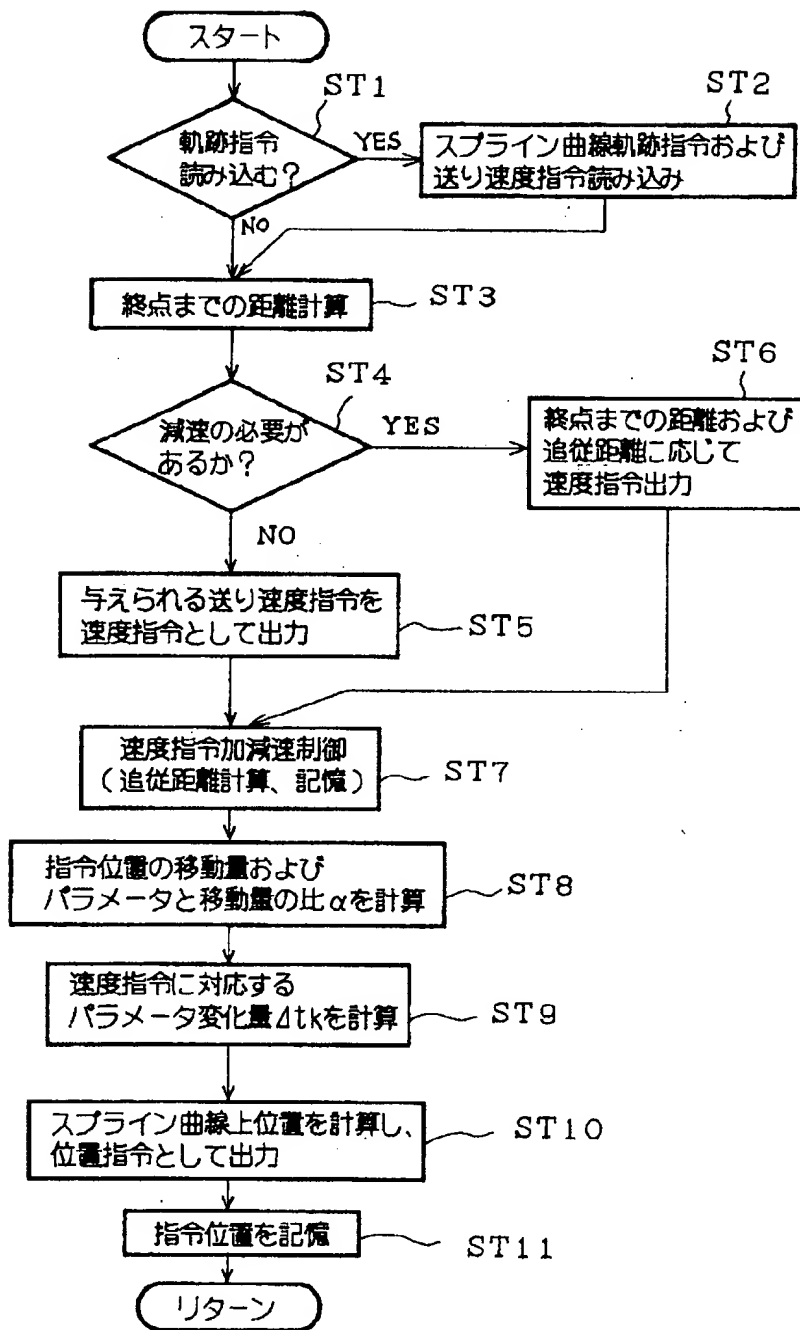
【図 1】



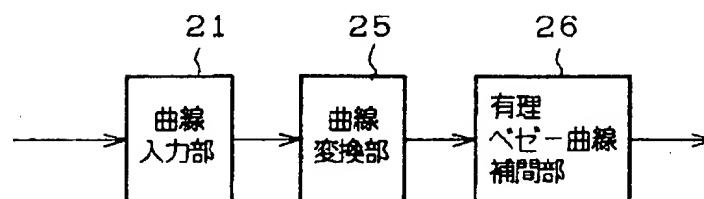
【図 4】



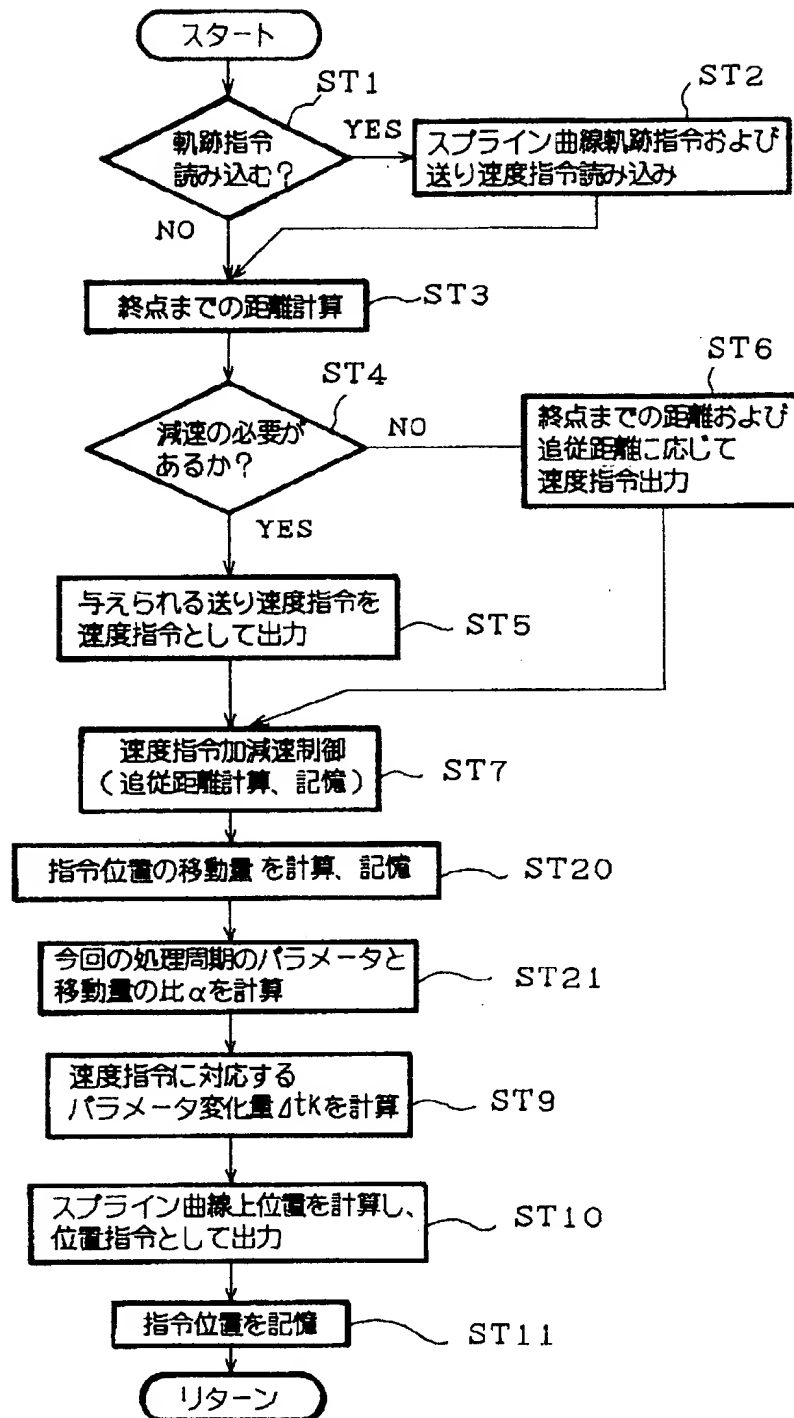
【図 2】



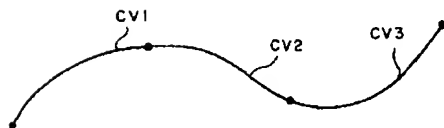
【図 2 3】



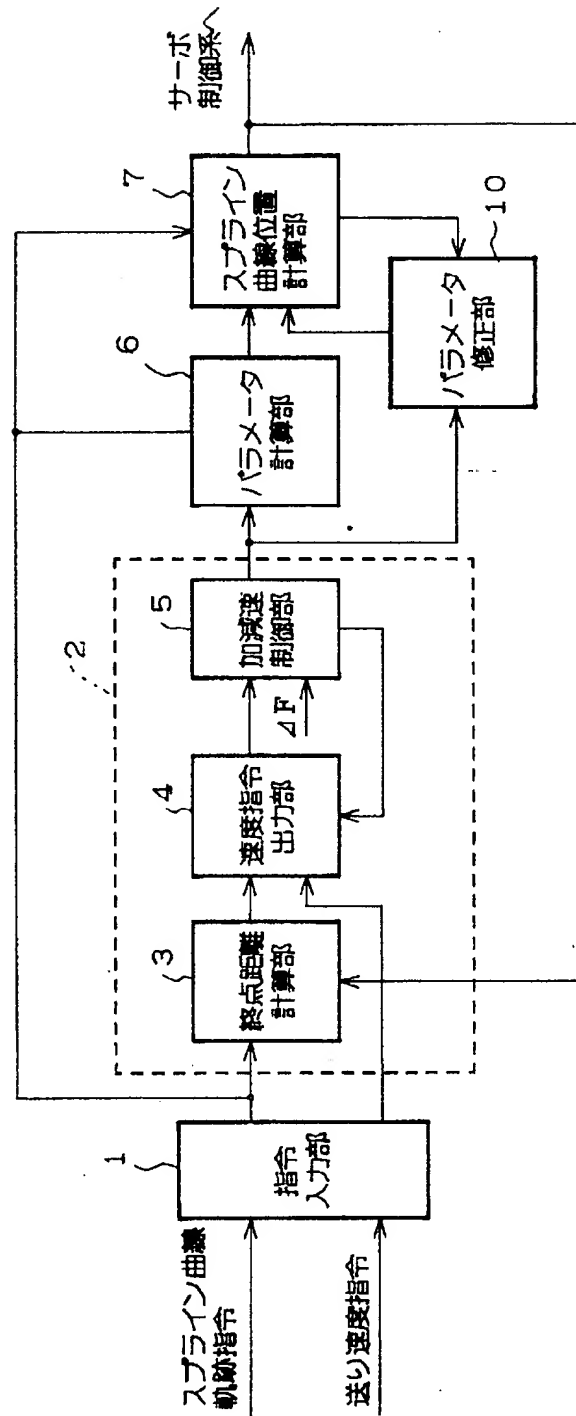
【図5】



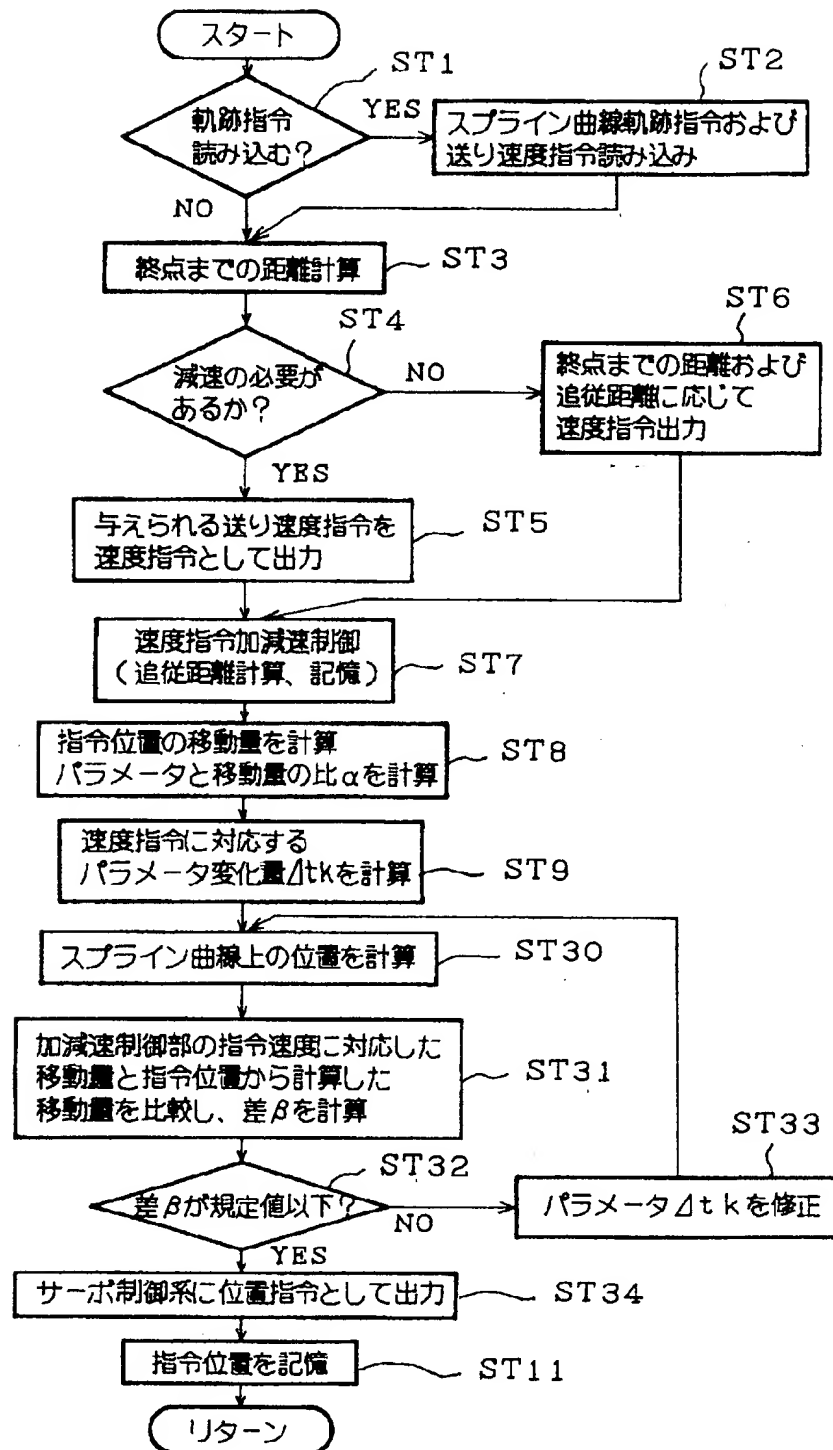
【図26】



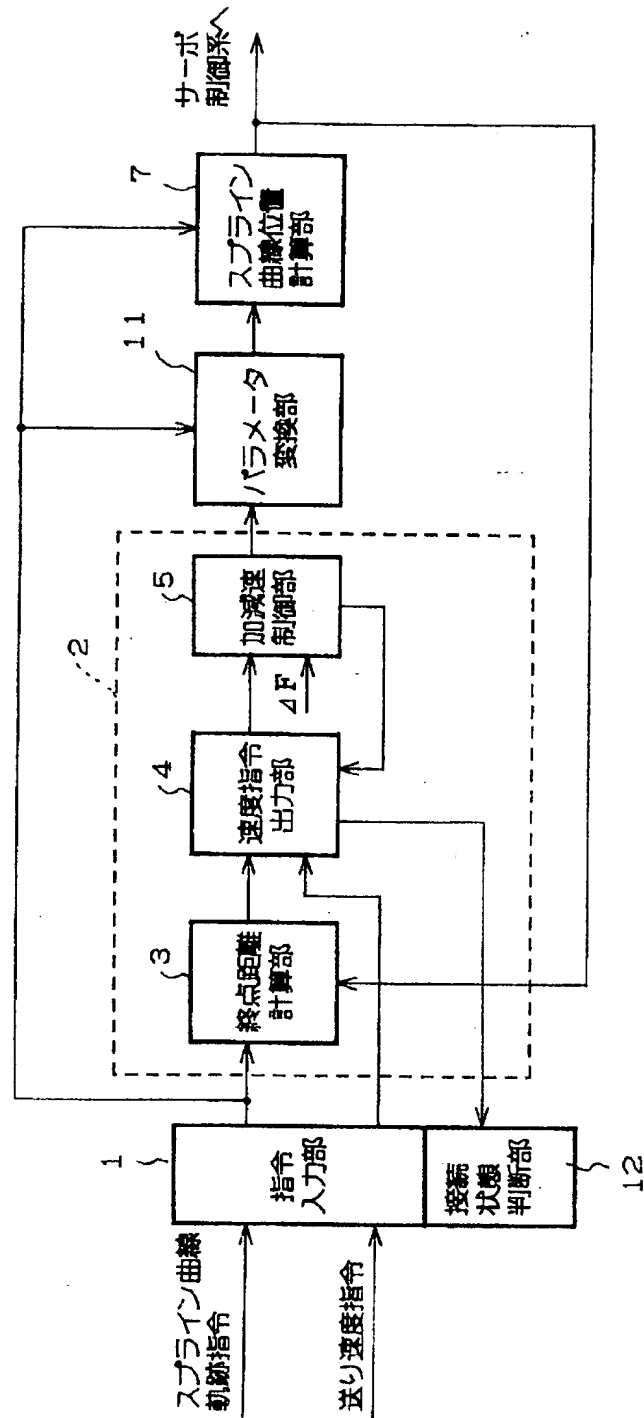
【図 6】



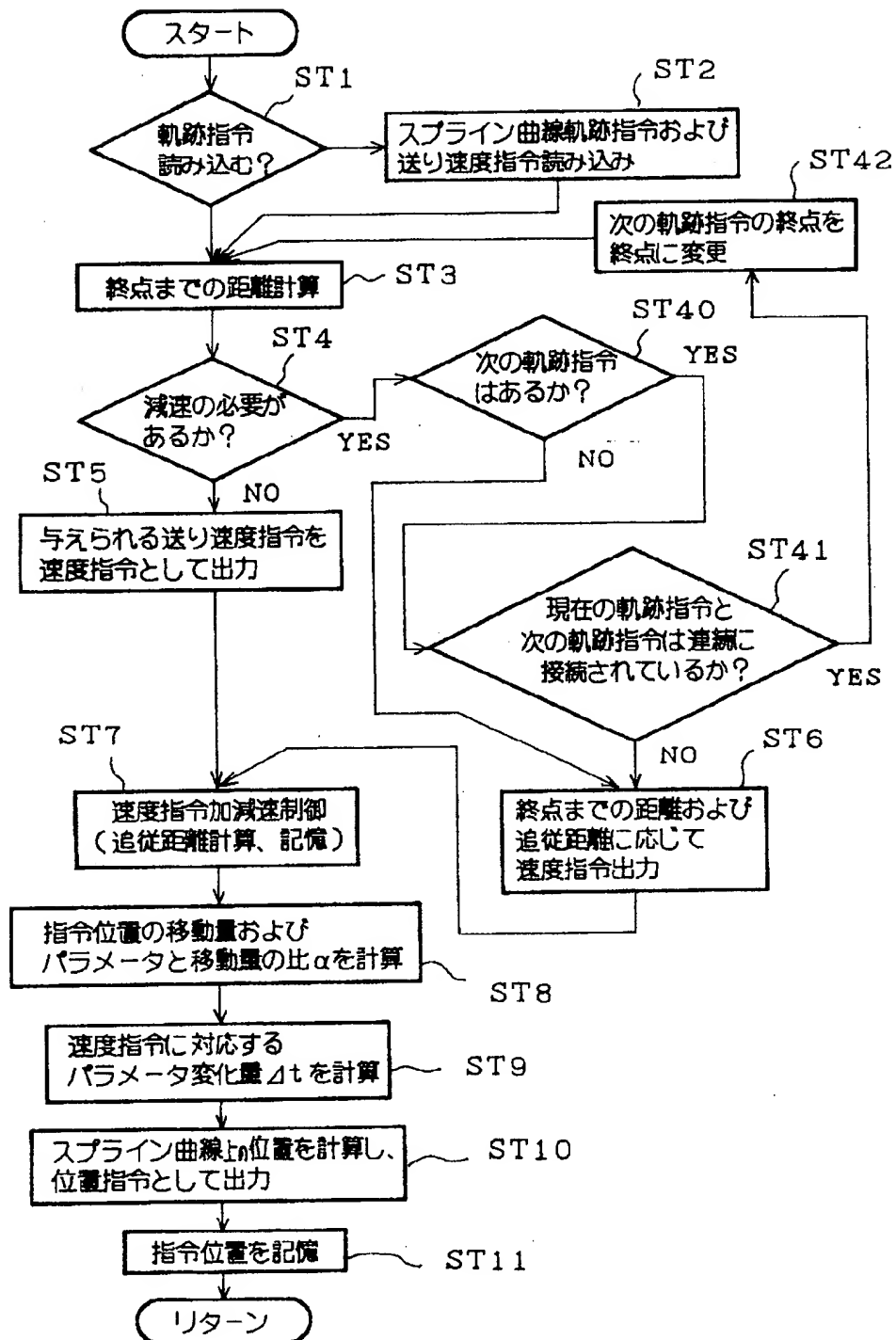
【図 7】



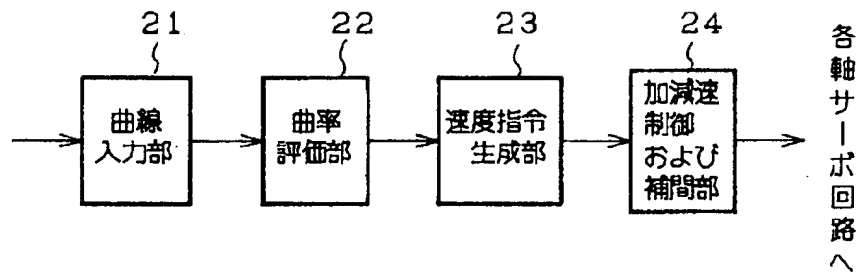
【図 8】



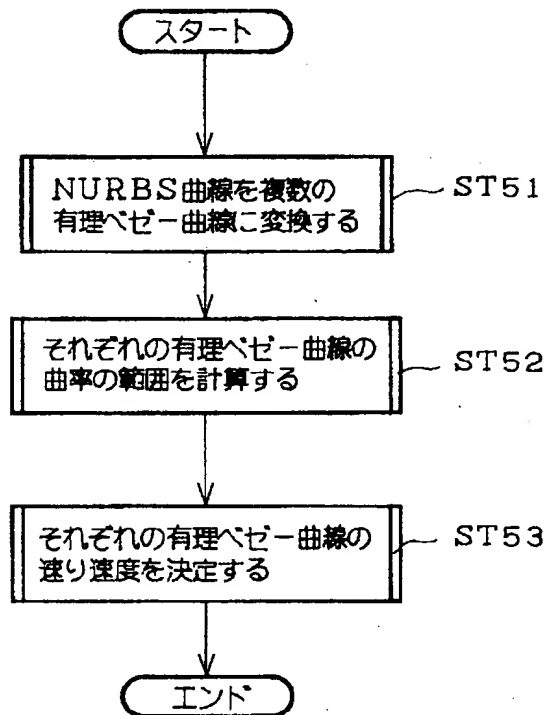
【図 9】



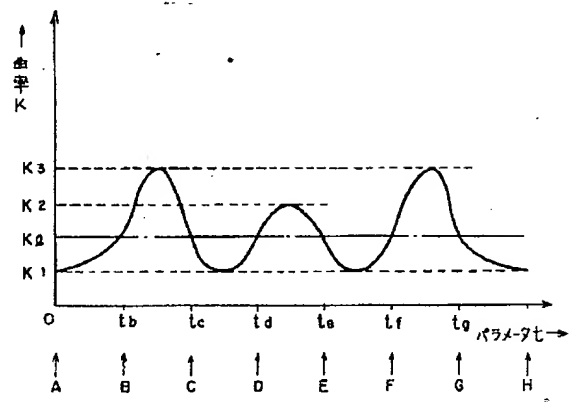
【図12】



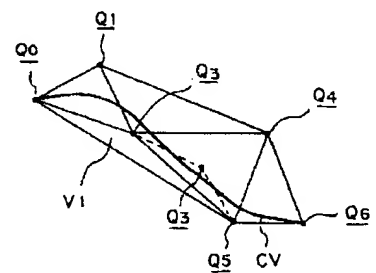
【図13】



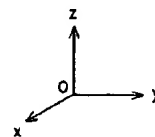
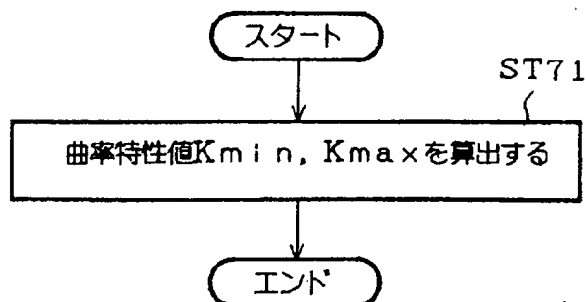
【図15】



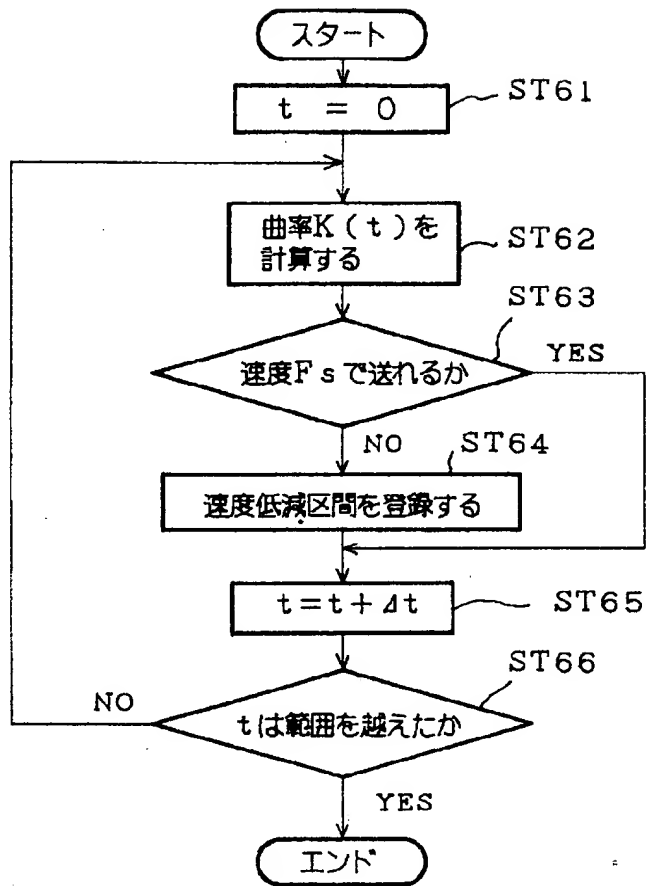
【図18】



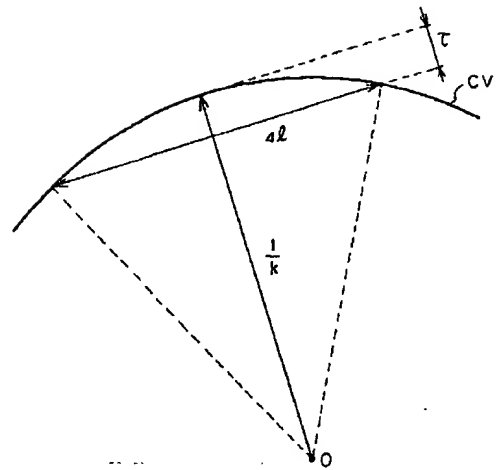
【図17】



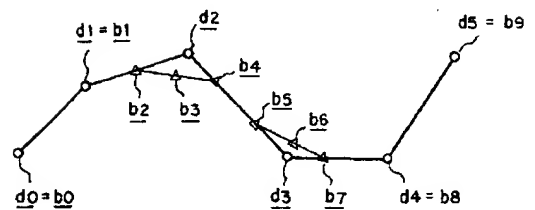
【図16】



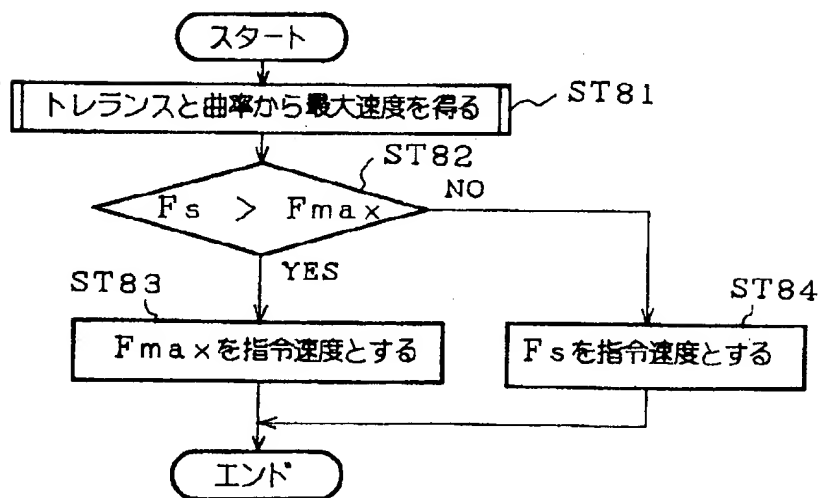
【図20】



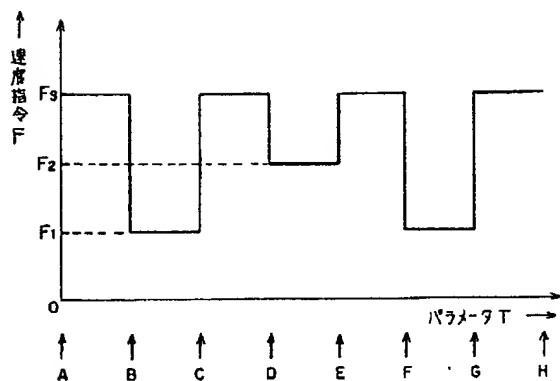
【図25】



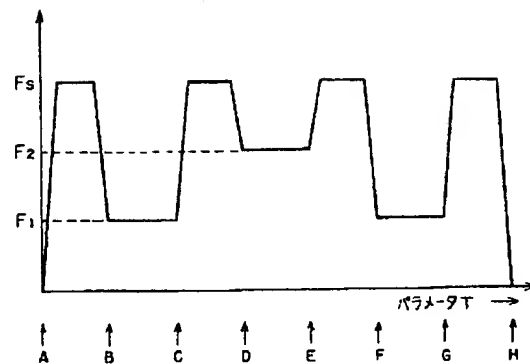
【図19】



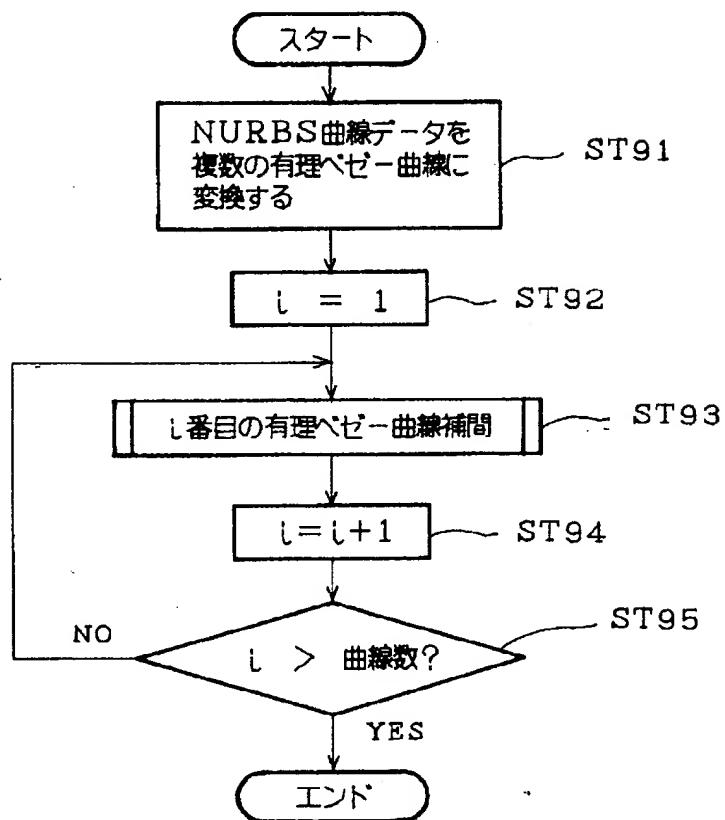
【図 21】



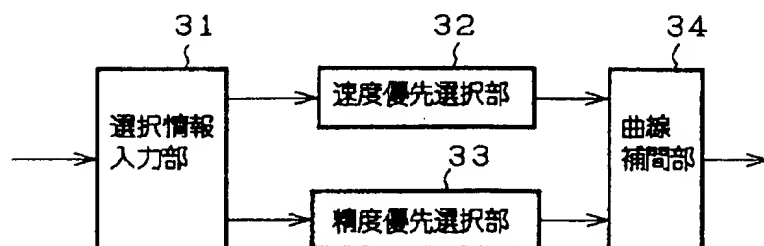
【図 22】



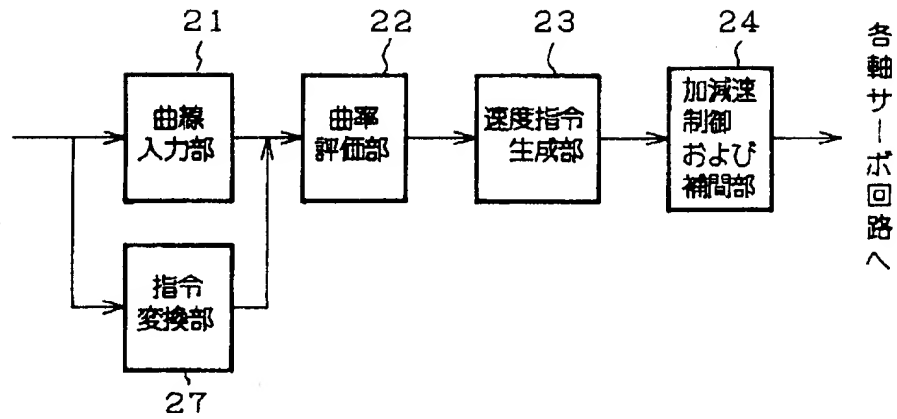
【図 24】



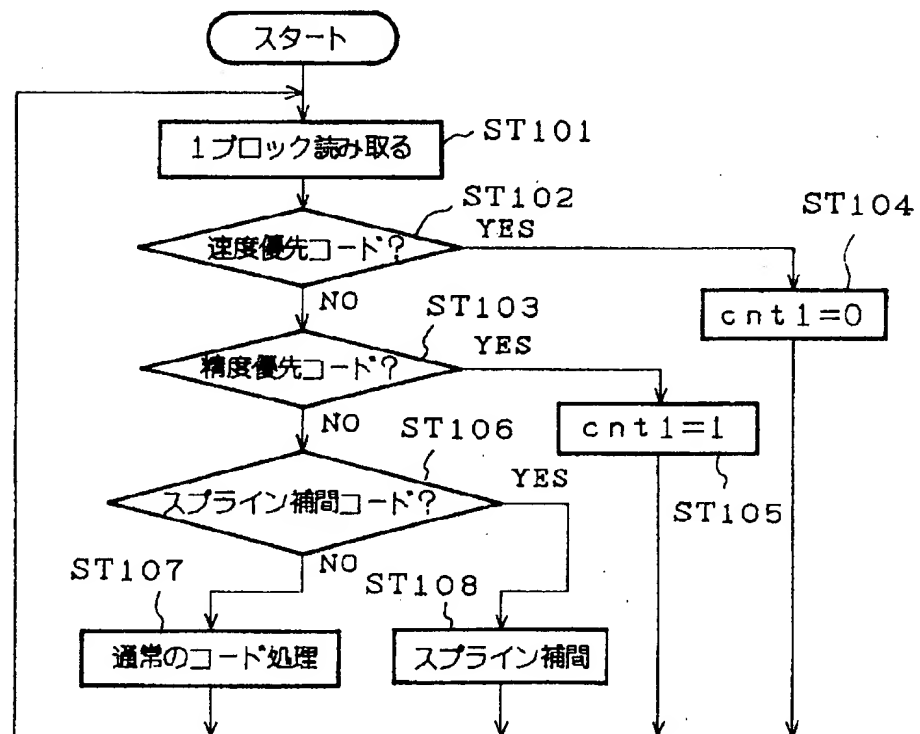
【図 28】



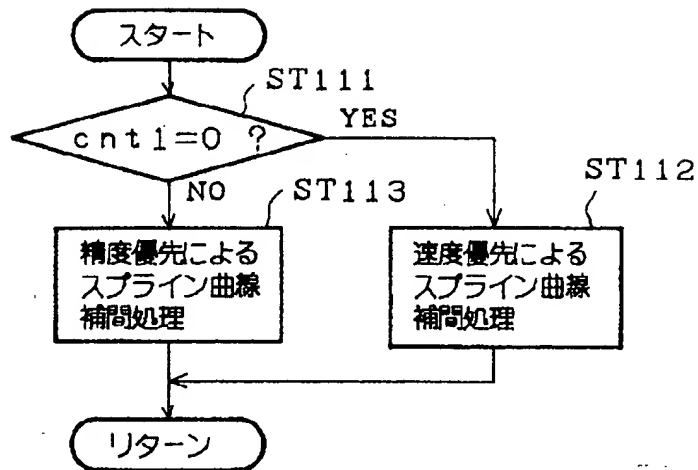
【図 27】



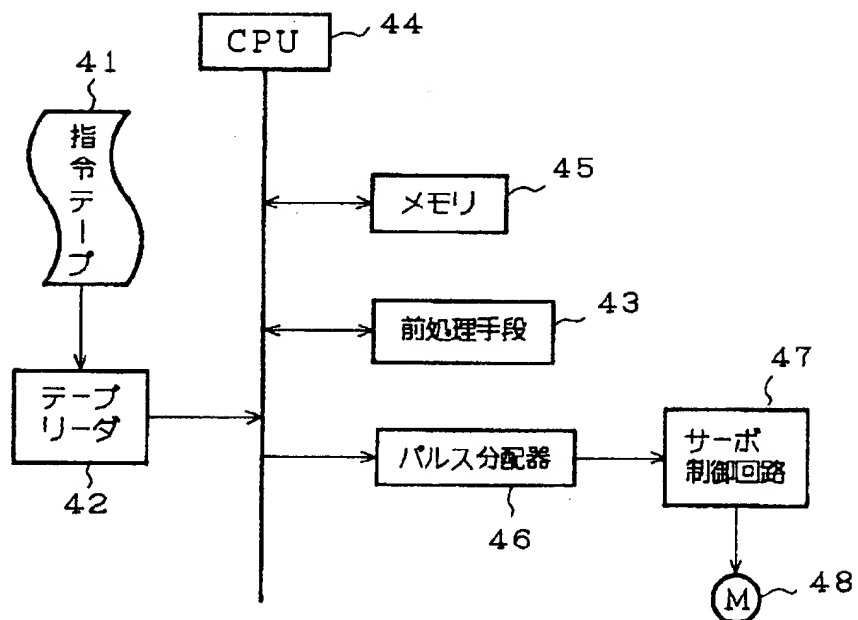
【図 29】



【図30】



【図32】



【図 3 1】

N001 G01X100. 0Y200. 0;
N002 G02X300. 0Y0. 0I100. 0J0. 0;
N003 G01X0. 0Y0. 0 ;
N004 G9. 0; <- 精度優先補間スタート
N005 G70. 0M4N5;
N006 G70. 0K0. 0K0. 0K1. 0K2. 0K3. 0K4. 0K5.
0K6. 0K6. 0;
N007 G70. 1X0. 0Y0. 0Z0. 0W1. 0;
X20. 0Y50. 0Z10. 0W1. 2;
X40. 0Y50. 0Z20. 0W1. 2;
X60. 0Y50. 0Z10. 0W1. 2;
X80. 0Y0. 0Z0. 0W1. 0;
N008 G70. 1X0. 0Y0. 0Z0. 0W1. 0;
X20. 0Y50. 0Z10. 0W1. 0;
X40. 0Y50. 0Z20. 0W1. 0;
X60. 0Y50. 0Z10. 0W1. 0;
X80. 0Y0. 0Z0. 0W1. 0;
N009 G01X100. 0Y0. 0;
N010 G9. 1; <- 速度優先補間スタート